Aarde Systeem aarde 

de geo

Aardrijkskunde
voor de tweede fase
Studieboek vwo

ThiemeMeulenhoff



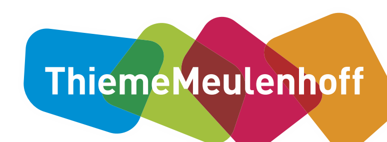
Studieboek vwo

Aarde Systeem aarde

drs. I.G. Hendriks

Eindredactie: B. van Wanrooij

De Geo voor de tweede fase wordt geschreven door een auteursteam:
drs. J.H. Bulthuis, drs. H.M. van den Bunder, drs. G. Gerits, drs. I.G. Hendriks,
drs. J.H.A. Padmos, A.M. Peters en B. van Wanrooij



Hoe werk je met De Geo?

Dit studieboek behandelt een gedeelte van het domein Aarde. Samen met het werkboek en het materiaal op www.degeo-online.nl kun je je hiermee goed voorbereiden op dit onderdeel van het centraal examen aardrijkskunde.

Lees hieronder hoe het studieboek, het werkboek en de site zijn opgebouwd.

Werkboek

Het werkboek is het startpunt van waaruit je werkt.
Je treft de volgende onderdelen aan:

I Instaptoets
Je herhaalt wat je al weet over het onderwerp.

II Hoofdstukken met paragrafen
- Hoofdvraag en deelvragen Ieder hoofdstuk heeft een hoofdvraag. In de paragrafen komen de deelvragen aan de orde waarmee je de hoofdvraag kunt beantwoorden.
- Opdrachten In elke paragraaf maak je verschillende soorten opdrachten zoals:
  - kennisvragen → K
  - inzichtvragen → I
  - opdrachten over vaardigheden en werkwijzen → V
  - verdiepingsopdrachten → VERDIEPING
  - atlasopdrachten
- Online-opdrachten Aan het eind van een paragraaf staan ict-opdrachten.
- Afsluiting Een hoofdstuk sluit af met een slotopdracht en een leeroverzicht.
- Extra Een hoofdstuk heeft ook altijd een Extra met extra opdrachten, bijvoorbeeld voor je Praktische opdracht.
- Proeftoets Een hoofdstuk heeft ook altijd een Proeftoets waarmee je oefent voor je toets. (Bij dit katern: zie www.degeo-online.nl).

III Proefexamen
Aan het eind van het werkboek vind je een Proefexamen. Hiermee toets je je kennis en vaardigheden voor de stof van het hele katern. Op het examen gebeurt dat immers ook. (Bij dit katern: zie www.degeo-online.nl).

Studieboek

Het studieboek heb je nodig om de theorie, de vaardigheden en de werkwijzen na te lezen. Om je te helpen de stof te bestuderen worden de volgende tekens gebruikt:
▶ hoofdzaak
● onderverdeling van de hoofdzaak, opsomming
■ bijzaak
Een overzicht van de vaardigheden en de werkwijzen vind je achter in het studieboek. De opdrachten in het werkboek leiden je door dit overzicht.

Online

Op www.degeo-online.nl vind je:
- per hoofdstuk een proeftoets waarmee je oefent voor je toets;
- een proefexamen over de stof van het hele katern;
- ict-opdrachten en W-nummers;
- films en animaties;
- extra beeld bij begrippen en lastige theorie;
- extra proeftoetsen met feedback en extra oefenmogelijkheden voor je examen;
- begrippenoverzichten per domein en per hoofdstuk;
- het overzicht van vaardigheden en werkwijzen.

Vormgeving
DATBureau, Amsterdam

Opmaak
DeltaHage bv, Den Haag

Cartografie
EMK, Deventer

Technisch tekenwerk
Tiekstra Media, Groningen

Fotoresearch
Lineair, Arnhem

Over de omslagfoto
De Grand Prismatic Spring in het nationaal park Yellowstone (U.S.A.). Deze hete bron heeft een constante temperatuur van 85°C.

Over ThiemeMeulenhoff
ThiemeMeulenhoff is dé educatieve mediaspecialist en levert educatieve oplossingen voor het Primair Onderwijs, Voortgezet Onderwijs, Middelbaar Beroepsonderwijs en Hoger Onderwijs. Deze oplossingen worden ontwikkeld in nauwe samenwerking met de onderwijsmarkt en dragen bij aan verbeterde leeropbrengsten en individuele talentontwikkeling.

ThiemeMeulenhoff haalt het beste uit élke leerling.

Meer informatie over ThiemeMeulenhoff en een overzicht van onze educatieve oplossingen: www.thiememeulenhoff.nl of via de Klantenservice 088 800 20 15.

ISBN 978 90 06 43636 5
Vierde druk, tweede oplage, 2015

Deze uitgave is volledig CO2-neutraal geproduceerd.
Het voor deze uitgave gebruikte papier is voorzien van het FSC®-keurmerk.
Dit betekent dat de bosbouw op een verantwoorde wijze heeft plaatsgevonden.



1 De actieve aarde





IJsland De Eyjafjallajökull houdt Europa in zijn greep

Een helikopter is boven op de gletsjer geland. Aswolken uit de vulkaan de Eyjafjallajökull gaan vlak bij het toestel de hoogte in. Een filmploeg van National Geographic probeert de indrukwekkende beelden van de uitbarsting van zo nabij mogelijk vast te leggen. Waarom beheerst deze vulkaanuitbarsting op IJsland weken lang het nieuws in heel Europa? De vulkaan ligt onder een ijskap en het smeltwater en de as bedreigden zo'n achthonderd inwoners die tijdig geëvacueerd werden. Niet heel uitzonderlijk voor de IJslanders. Het probleem was dat de aswolken afbogen naar het zuidzuidoosten en zo naar de luchtlagen boven Europa werden gedreven. Het vliegverkeer in een groot deel van Europa kwam een paar weken stil te liggen. Miljoenen reizigers zaten korte of langere tijd vast en konden niet naar hun plaats van bestemming. Interessant voor één dag, maar na enkele dagen raakte men geïrriteerd. Erg lastig, zo'n gebeurtenis. Kan de overheid daar niets aan doen? Maar de natuur is niet altijd maakbaar. Bij vulkaanuitbarstingen en aardbevingen sta je als mens vaak buitenspel. Je kunt wel maatregelen nemen om de effecten ten dele te beperken. Maar dan moet je wel weten waar het gevaar schuilt en hoe deze krachten werken.



1.1 Het ontstaan en de opbouw van de aarde

Heet en koud gesteente

Uit de vulkaan op Hawaii kruipt een constante stroom vloeibaar, heet gesteente. Het stolt langzaam tot basalt. Waar komt dat vloeibare gesteente vandaan? Zit dat ondiep? De Chileense mijnwerkers die in 2010 maanden vast zaten in een mijn op zevenhonderd meter diepte, werkten in gangen die uitgehakt waren in vast gesteente van graniet en koper. De temperatuur was niet bepaald aangenaam: 30 tot 35 °C, maar gesmolten gesteente vind je daar niet. Het binnenste van de aarde ziet er dus niet overal hetzelfde uit.

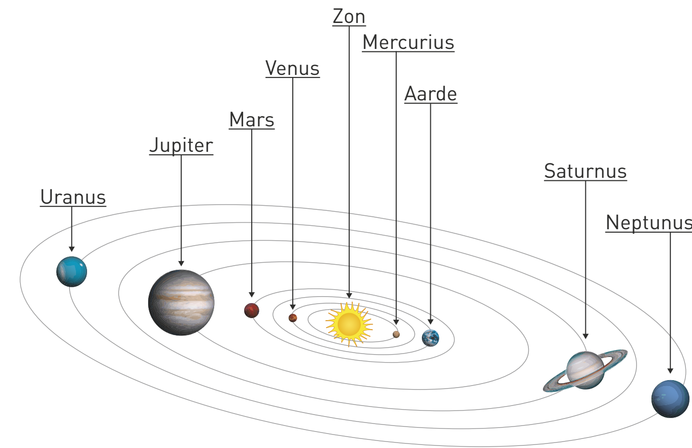
Hoe begrijp je het verleden van de aarde?

▶ De aarde is zo'n 4,5 miljard jaar oud. In deze onvoorstelbaar lange tijd hebben zich veel ontwikkelingen voorgedaan. Sommige processen strekken zich uit over miljoenen jaren. Denk bijvoorbeeld aan de vorming van de gebergten en oceanen. In een tijdsbestek van een mensenleven zijn geen grote veranderingen waar te nemen. We hebben de Alpen niet hoger zien worden of de Atlantische Oceaan breder.
Hoe kan men dergelijke oude gebeurtenissen en processen achterhalen en verklaren? Om het ontstaan van de aarde te onderzoeken, moeten geologische wetenschappers andere technieken en theorieën gebruiken dan bijvoorbeeld historici.
● De Schotse geoloog Hutton heeft in de achttiende eeuw als eerste een van de belangrijkste grondbeginselen die daarbij gebruikt worden, uitgewerkt en toegepast. Het gaat om het actualiteitsprincipe. Daarbij ging hij uit van het beginsel dat de processen die we nu op aarde zien, vroeger ook zo hebben gewerkt. Een rivier die zich de afgelopen decennia dieper in een dal heeft ingesleten, zal vroeger onder gelijke omstandigheden hetzelfde hebben gedaan in eenzelfde tijdsbestek. Heb je gemeten dat een klif zich de afgelopen eeuw enkele centimeters meer boven de zee verheft, dan zal vroeger onder gelijke omstandigheden zo'n opheffing ook zo snel of langzaam zijn gegaan. Het heden vormt dus de sleutel tot het verleden. Processen herhalen zich gedurende de tijd. Met dit concept kunnen geologen tegenwoordig nog steeds heel veel uitleggen en verklaren.
Men weet ook dat er vroeger grote en kleine catastrofes zijn geweest die de langzame geologische cycli hebben doorbroken. Een grote meteorietinslag bijvoorbeeld, kon in een paar seconden uitgestrekte landschappen vernietigen. Grote, oude kraters zijn de stille getuigen van dergelijke inslagen die vroeger hebben plaatsgevonden. Een mens heeft dit, gelukkig, nog nooit zien gebeuren.

De kraamkamer van de aarde

▶ De aarde vormt slechts een heel klein onderdeel van het uitgestrekte heelal. Ongeveer 4,6 miljard jaar geleden ontstonden, in een kleine nevel van heet gas en stof door samentrekking en zwaartekracht, concentraties van deeltjes. De grootste massa werd het begin van een ster, onze zon. In de nevel vormden zich rondom de protozon planeetachtige lichamen. Omdat ze door de zwaartekracht onderling in botsing kwamen, werden de lichamen groter en groter. Uiteindelijk ontstonden zo acht grote planeten (figuur 1.1) met manen, asteroïden en planetoïden, die in een schijf om de zon draaien. Een van die planeten is onze aarde.
Op een heldere, donkere nacht kun je vele andere sterren aan de hemel zien staan. Miljarden van die sterren met gasnevels vormen, samen met onze zon, een cluster; een schijf, iets dikker in het midden, met spiraalarmen. Dit is een sterrenstelsel, ons Melkwegstelsel. Wanneer je weet dat in het heelal vele sterrenstelsels te vinden zijn, besef je een beetje hoe groot dat heelal is. In figuur 1.2 zie je een voorbeeld van zo'n sterrenstelsel.

> actualiteitsprincipe



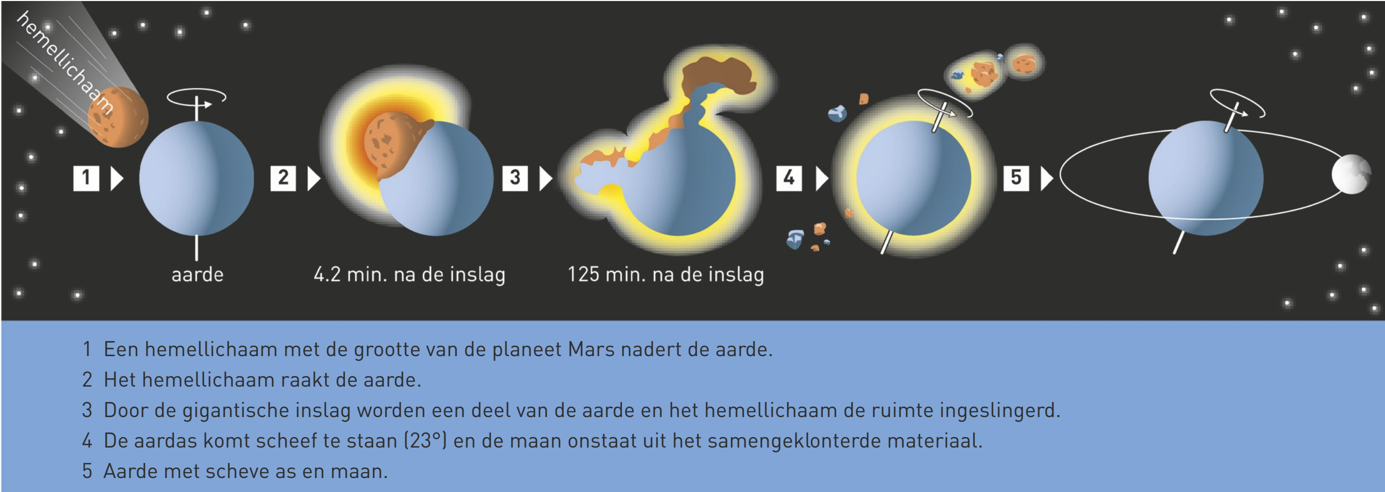
Figuur 1.1 Het zonnestelsel: de zon met acht planeten.

Schillen

▶ Onze aarde is bijzonder. Ze onderscheidt zich van de andere planeten in ons zonnestelsel in twee belangrijke opzichten. In tegenstelling tot andere planeten vind je op het aardoppervlak vloeibaar water. Over de gevolgen hiervan lees je meer in hoofdstuk 2.
De tweede unieke eigenschap heeft te maken met de inwendige gelaagdheid van de aarde. Door onderzoek naar het gedrag van aardbevingsgolven in de aarde ontdekte men dat de aarde niet is opgebouwd uit een homogene massa elementen, maar bestaat uit schillen met specifieke eigenschappen. Dit is belangrijk om te weten om bijvoorbeeld het vulkanisme en de vorming van de continenten te kunnen verklaren.
▶ Bij het bestuderen van de eigenschappen van de schillen kijk je naar de chemische samenstelling (uit welke materialen bestaan de schillen) en één van de fysische eigenschappen (hoe hard zijn de schillen).

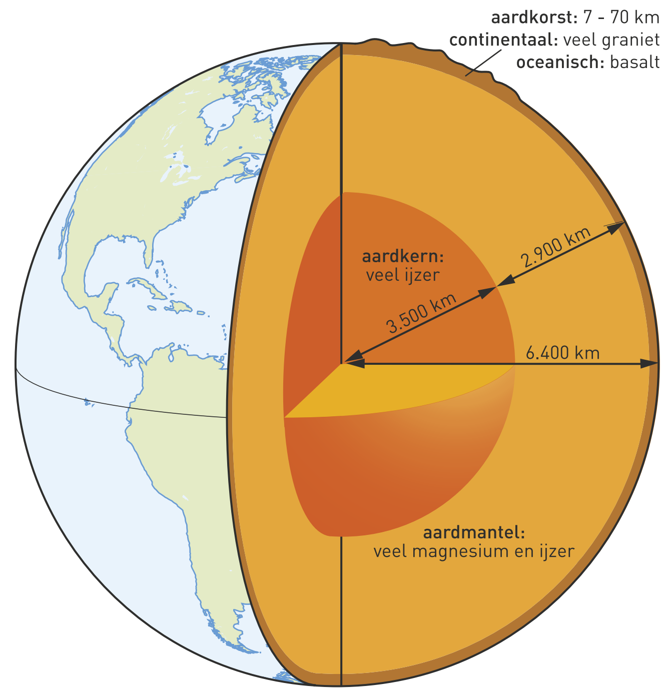


Figuur 1.2 Sterrenstelsel Messier 51.



Figuur 1.3 Computersimulatie van het ontstaan van de maan.

● De chemische samenstelling: Gedurende de eerste honderd miljoen jaar van het bestaan van de aarde zorgden inslagen van meteorieten voor veel warmte. De aarde smolt en zware elementen zoals ijzer zakten naar de diepte. Zo ontstond een kern van ijzer en een mantel. De buitenkant van de mantel vormde waarschijnlijk al een dunne, harde laag. Toen sloeg een zeer groot hemellichaam in op het aardoppervlak. Bij deze klap werd enorm veel materiaal de ruimte in geslingerd, waaruit later de maan ontstond (figuur 1.3). Door de bij de klap vrijkomende warmte smolt de aarde opnieuw. Daardoor trad er bij de afkoeling opnieuw een scheiding op van mineralen met hogere en lagere smelttemperaturen. Zo ontstonden nog lichtere gesteenten aan het aardoppervlak. De aarde is dus opgebouwd uit schillen met verschillende chemische samenstellingen.



Figuur 1.4 De chemische opbouw van de aarde.

■ Het binnenste van de aarde wordt gevormd door de aardkern, die voornamelijk uit ijzer bestaat. De temperaturen in het binnenste van de aarde liggen waarschijnlijk tussen de 3.000 en 5.000 °C (figuur 1.4).

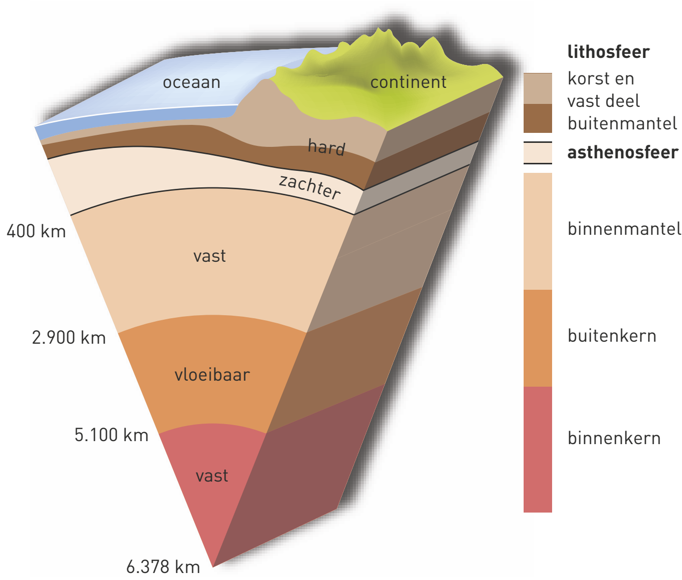
■ Dan komt de aardmantel, een laag die bestaat uit veel magnesium en ijzer. Het is daar iets minder warm, maar toch altijd nog tussen de 2.800 (bij de kern) en 1.800 °C.

■ De buitenste, dunne laag van de aarde heet de aardkorst. Deze laag van vast gesteente komt in twee verschillende vormen voor:

- De continentale korst onder de continenten met een dikte van 30 tot 70 km, bestaande uit vrij licht gesteente (o.a. veel graniet).
- De oceanische korst onder de oceanen met een dikte van 1 tot 7 km, bestaande uit vrij zwaar gesteente (basalt).

● Een fysische eigenschap: de hardheid van de schillen. In figuur 1.5 zie je de fysische opbouw van de aarde. De harde, vaste buitenlaag van de aarde wordt de lithosfeer genoemd. Deze laag omvat behalve de aardkorst het harde bovengedeelte van de mantel. Onder de oceanen is de lithosfeer dunner dan bij de continenten. De dikte loopt uiteen van 60 tot 150 km.

> aardkern
> aardmantel
> aardkorst
> lithosfeer



Figuur 1.5 De fysische opbouw van de aarde.

Onder de lithosfeer ligt de asthenosfeer, een zachtere laag die reikt van 60 tot ongeveer 400 km. Deze laag is op een paar plekken bij magmahaarden gesmolten. Maar het grootste gedeelte van deze laag is plastisch gesteente. Dit moet je je voorstellen als vast gesteente dat onder invloed van druk en tijd iets stroperiger wordt en makkelijker beweegt dan de harde lithosfeer. De asthenosfeer rust op een harder deel van de mantel, de binnenmantel, die zich uitstrekt van 400 tot ongeveer 2.900 km diepte. Door de hogere druk is het gesteente daar vaster dan in de asthenosfeer. Vervolgens komt je bij de vloeibare buitenkern. De binnenste laag van de aarde ten slotte, de binnenkern, bestaat weer uit hard gesteente.

Inwendige warmte

▶ De aarde krijgt haar warmte van inwendige en uitwendige bronnen.

● Bij haar ontstaan uit hete nevelgassen en stof kreeg de aarde al warmte mee. Daarna heeft onze planeet een periode meegemaakt met veel meteorietinslagen. Bij die inslagen van grote en kleinere hemellichamen kwam veel warmte vrij die zich in de aarde heeft opgehoopt. Het aantal heel heftige meteorietinslagen is de laatste miljoenen jaren drastisch verminderd.

Een andere inwendige warmtebron wordt gevormd door de radioactiviteit van sommige gesteenten. Een aantal elementen in het gesteente is radioactief en geeft nog steeds warmte af. Het hete, vaste gesteente verplaatst zich heel langzaam (enkele centimeters per jaar) in de mantel richting aardoppervlak. Zo wordt de warmte naar buiten getransporteerd. Bij de lithosfeer aangekomen verplaatst de warmte zich op twee manieren. Meestal is de lithosfeer te hard om plaats te maken voor de omhoogkomende bel heet gesteente. De warmte wordt dan door geleiding in de lithosfeer naar buiten verplaatst. Dit gaat moeizaam, omdat gesteenten de warmte goed vast kunnen houden. Op een aantal plekken zal de lithosfeer door de druk van de hete bel magma breken. Zo kan het hete magma via deze breuken aan de oppervlakte komen in de vorm van vulkanisme. Ook al is dat niet veel, toch kan het gesteente in de loop van lange tijd door radioactief verval een paar honderd graden warmer worden. Dit heeft ervoor gezorgd dat de aarde in een tijdsbestek van 4,5 miljard jaar nog steeds niet is afgekoeld tot een koude bol.

● De uitwendige warmte, afkomstig van de zon, geeft op dit moment vele malen meer warmte aan het aardoppervlak af dan de inwendige warmte. Dit heeft gevolgen voor de uitwendige processen, de exogene krachten, die zich aan het aardoppervlak afspelen.

Hier gaan we in hoofdstuk 2 dieper op in.

> asthenosfeer



1.2 Het verhaal van de gesteenten

Diamantmijn

Van oudsher hebben mensen stenen als nuttig ervaren: je kunt ze gebruiken als delfstof of als bouwsteen. Stenen hebben ook een emotionele waarde. In Canada wint men in Diavik sinds 2003 1.600 kg diamanten per jaar. De mijn laat diepe sporen na in het landschap; een aanslag op het milieu. Maar er kunnen prachtige sieraden van de diamanten gemaakt worden. Ooit zijn die diamanten diep in de aarde gevormd. Hoe komt het dan dat ze hier zo dicht aan het aardoppervlak liggen?

Bouwstenen

▶ Bij de kust van Dover (Engeland) schitteren witte kliffen fel in het zonlicht. In Bretagne (Frankrijk) liggen grote, roze rotsblokken op het strand. De bekende grote rotsmassa Uluru in de woestijn van Australië is rood van kleur. Dit zijn slechts drie voorbeelden van gesteenten met verschillende kleuren. De lithosfeer is opgebouwd uit talloze soorten stenen: qua kleur, samenstelling en eigenschappen.

● Een gesteente bestaat uit een mengsel van vaste mineralen en/of organische stoffen die in de natuur voorkomen. Mineralen of organische stoffen vormen dus de basisbestanddelen. Een mineraal is een verbinding die in de natuur voorkomt en die bepaalde chemische eigenschappen heeft. Zo'n chemische eigenschap kan bijvoorbeeld de kristalvorm zijn. Bij de vorming van het mineraal worden de moleculen in de meest 'ideale' vorm gerangschikt tot een kristal. Elk mineraal heeft zo zijn eigen kristalvorm. In figuur 1.6 zie je de kristalvormen van kwarts en pyriet. Voor de vorming van dergelijke grote kristallen is veel tijd nodig. Dat kan alleen onder bepaalde omstandigheden. Een andere eigenschap is de hardheid van een mineraal. Krijt is bijvoorbeeld veel zachter dan de diamanten uit de mijn in Canada. Organische stoffen zijn ontstaan uit levende organismen, bijvoorbeeld veen dat het basismateriaal is voor bruinkool en steenkool.

> gesteente
> mineraal

Soorten gesteenten

▶ Al die verschillende gesteenten kun je op basis van de ontstaanswijze indelen in drie hoofdgroepen: stollingsgesteenten, sedimentgesteenten en metamorfe gesteenten.

● Stollingsgesteenten ontstaan door afkoeling en stolling van magma. Ze zijn te verdelen in diepte-, uitvloeiings- en ganggesteenten.

– Dieptegesteente ontstaat als het vloeibare magma heel langzaam stolt. Omdat er dan voldoende tijd en ruimte is, kunnen zich grote kristallen vormen. Zo kunnen prachtige kubusvormen (figuur 1.6B) of prismavormen ontstaan. Het dieptegesteente graniet is een mengsel van mineralen. Witte of doorzichtige kwartskristallen, zwarte glimmers en soms roze veldspaatkristallen zijn kenmerkend voor dit gesteente (figuur 1.7). De kristallen zijn goed zichtbaar. Graniet is de belangrijkste bouwsteen van de continenten.

– Uitvloeiingsgesteenten ontstaan als het hete magma bij een vulkaanuitbarsting als lava uit de krater over de hellingen van een vulkaan stroomt. Door de koude buitentemperatuur koelt de massa heel snel af en stolt. Er is geen tijd voor de vorming van grote kristallen. Zo wordt basalt gevormd (figuur 1.8). In dit gesteente zit relatief veel ijzer en

> stollingsgesteenten





Figuur 1.6 A: kwartskristal; B: pyrietkristal.



Figuur 1.7 Graniet.



Figuur 1.8 Basaltrotsen bij Svartifoss op IJsland.

magnesium. Het gesteente is grijs-zwart van kleur en met het blote oog zijn geen kristallen te onderscheiden. De oceaanbodem bestaat voor een groot deel uit basalt.
– Ganggesteenten zijn een tussenvorm van diepte- en uitvloeiingsgesteente. Ze ontstaan door de afkoeling van gesmolten magma in vulkanische gangen onder het aardoppervlak. Sommige kristallen hebben de tijd gehad om goed uit te groeien, terwijl een ander deel van het magma vrij snel stolt. Zo ontstaat een gesteente met kleine, nauwelijks zichtbare kristallen met hier en daar een groot kristal. Een voorbeeld van zo'n ganggesteente is andesiet (figuur 1.9).

- Sedimentgesteenten ontstaan doordat afzettingen van bijvoorbeeld zand of klei in lagen worden neergelegd en samengeperst. Ze kunnen worden onderverdeeld in twee typen:
– Bij klastische sedimenten worden zand en klei in de zee, in de woestijn, in meren of door de rivieren gesedimenteerd tot dikke lagen. Door de druk van de bovenliggende lagen worden de zand- en kleilagen samengeperst tot een hard gesteente. Zand wordt op deze manier zandsteen en klei wordt kleisteen of schalie (figuur 1.10A en B).
– Chemische en organische sedimenten ontstaan door het neerslaan van mineralen in een oplossing, of door opeenhoping van organisch materiaal. Wanneer de zoutconcentratie in zeewater of een zoutmeer te groot wordt, kan het zout neerslaan. Er ontstaat een dikke zoutlaag of



Figuur 1.9 Andesiet.

> sedimentgesteenten





Figuur 1.10 A: zandsteen; B: donkere, dunne lagen schalie met lichte, dikkere lagen kalksteen.

zoutsteen. Lagen kalksteen ontstaan door het neerslaan van organische en anorganische kalkdeeltjes. Zo bestaan de kliffen bij Étretat (Frankrijk) uit vele lagen kalksteen (figuur 1.11). In stilstaand water kan het plantenmateriaal niet goed worden afgebroken, waardoor het zich ophoopt tot veen. Wanneer de druk van de later gevormde bovenliggende lagen groot genoeg is, kan het veen omgezet worden in bruinkool of steenkool.

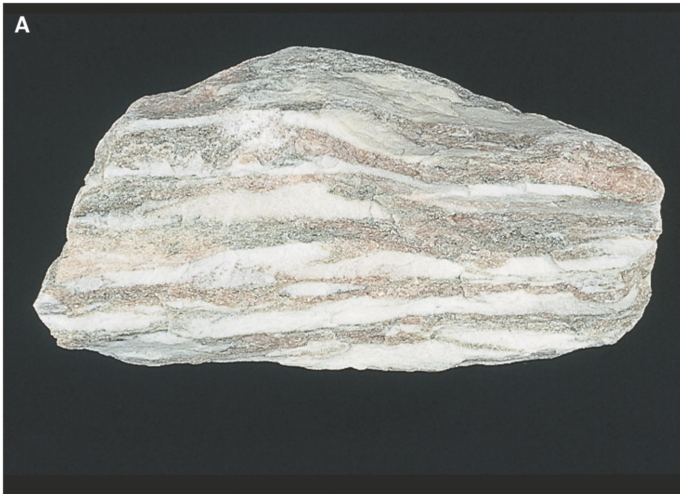
- Metamorfe gesteenten ontstaan wanneer een gesteente langere tijd onder invloed van hoge druk en hoge temperatuur staat. De mineralen vallen uiteen en de moleculen organiseren

> metamorfe gesteenten



Figuur 1.11 Kalksteenrotsen bij Étretat.

zich in nieuwe kristallen. De samenstelling van het gesteente is veranderd (metamorf = van vorm veranderd). Deze processen vinden diep in de aardkorst of aardmantel plaats door de enorme druk van de bovenliggende lagen. Maar ook bij gebergtevorming of het binnendringen van magma in een laag gesteenten kan metamorfose optreden. Zo ontstaat uit kalksteen het metamorfe gesteente marmer (figuur 1.12A). Schalie of kleisteen kan omgevormd worden tot leisteen (figuur 1.12B). Komt de leisteen onder nog grotere druk te staan, dan wordt het een schist (figuur 1.12C).







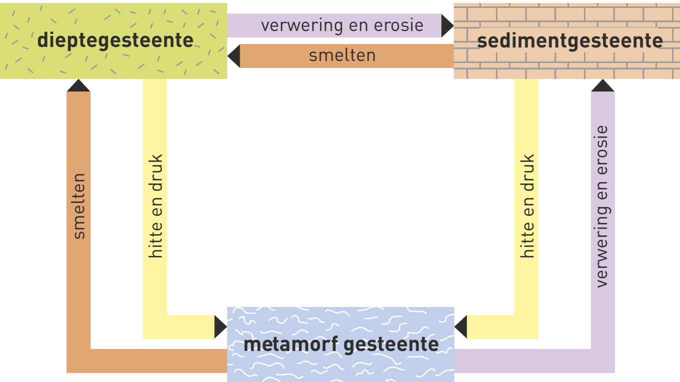
Figuur 1.12 A: marmer; B: leisteen; C: schist.

Wat een steen je kan vertellen

▶ Hoog in de bergen in Italië ligt bij Carrara een marmergroeve (figuur 1.13). Het marmer dat daar gewonnen wordt, kan je heel wat vertellen over de geologische geschiedenis van dat gebied. Je weet nu dat marmer een metamorf gesteente is, dat onder hoge druk en temperatuur uit kalksteen is ontstaan. Heel vroeger moet dit gebied een zee zijn geweest, want kalkafzettingen ontstaan in zeewater. De gevormde kalksteen werd met dikke lagen andere sedimenten bedekt en werd – inmiddels diep in de ondergrond – omgevormd tot marmer. Een metamorf gesteente ontstaat immers bij hoge druk en temperatuur. Daarbij hebben gebergtevormende krachten ook een rol gespeeld. Het marmer ligt nu hoog in de bergen in de groeve. Het hele gebied moet dus wel enkele duizenden meters omhoog zijn gekomen. Alle gesteentelagen die boven op het marmer hebben gelegen, verdwenen in de loop der tijd door verwering en erosie. Zo kwam het marmer uiteindelijk hoog in de bergen aan de oppervlakte te liggen. De steen moet wel heel oud zijn, want al deze beschreven processen kosten erg veel tijd. Zo kun je een deel van de geschiedenis achterhalen als je wat meer weet over verschillende typen stenen.



Figuur 1.13 Marmer in een groeve in de bergen in Italië.



Figuur 1.14 De gesteentecyclus.

● Je kunt nog verder gaan en voorspellen wat er in de toekomst met het marmer zou kunnen gebeuren. Wanneer we het gesteente niet zouden hebben gewonnen en het nog veel langer in de bergen had kunnen liggen, zou het waarschijnlijk door verwering en erosie helemaal uiteen zijn gevallen. Beekjes en rivieren zouden de kleine deeltjes hebben kunnen meenemen naar de zee. In het zeewater bij de kust zouden de deeltjes afgezet kunnen worden tot een laag sediment. Na lange tijd zou dit laagje bedekt kunnen zijn met vele andere afzettingen. De laag wordt door de druk een hard sedimentgesteente. Een sedimentgesteente dat omgevormd werd tot metamorf gesteente, kan dus ooit weer een nieuw sedimentgesteente worden. De gesteenten kunnen onder bepaalde omstandigheden van het ene hoofdtype overgaan in het andere hoofdtype. Deze kringloop noem je de gesteentecyclus (figuur 1.14).

> gesteentecyclus



1.3 Schuivende continenten

Duiken in een breuk

Voorzichtig laat de duiker zich bij Thingvellir op IJsland in het ijskoude water zakken. Hij verdwijnt in een zeer diepe, smalle kloof met steile rotswanden. Rechts kan de duiker de Amerikaanse plaat aanraken, links de Euraziatische plaat. Vanuit deze kloof, die een onderdeel is van een groot systeem in de Atlantische Oceaan, beweegt Amerika zich naar het westen en Europa naar het oosten. Zo zullen de Atlantische Oceaan en de kloof op IJsland steeds breder worden. Hoe kan dat?

Hoe oud is de aarde?

▶ Vroeger gingen de meeste mensen ervan uit dat de aarde ongeveer zesduizend jaar oud was. In de negentiende eeuw begonnen met name geologen anders naar de ouderdom van de aarde te kijken. Ze onderzochten gesteenten op aarde en bestudeerden geologische processen die zich op aarde voordoen. Daarbij kwamen ze tot twee conclusies.

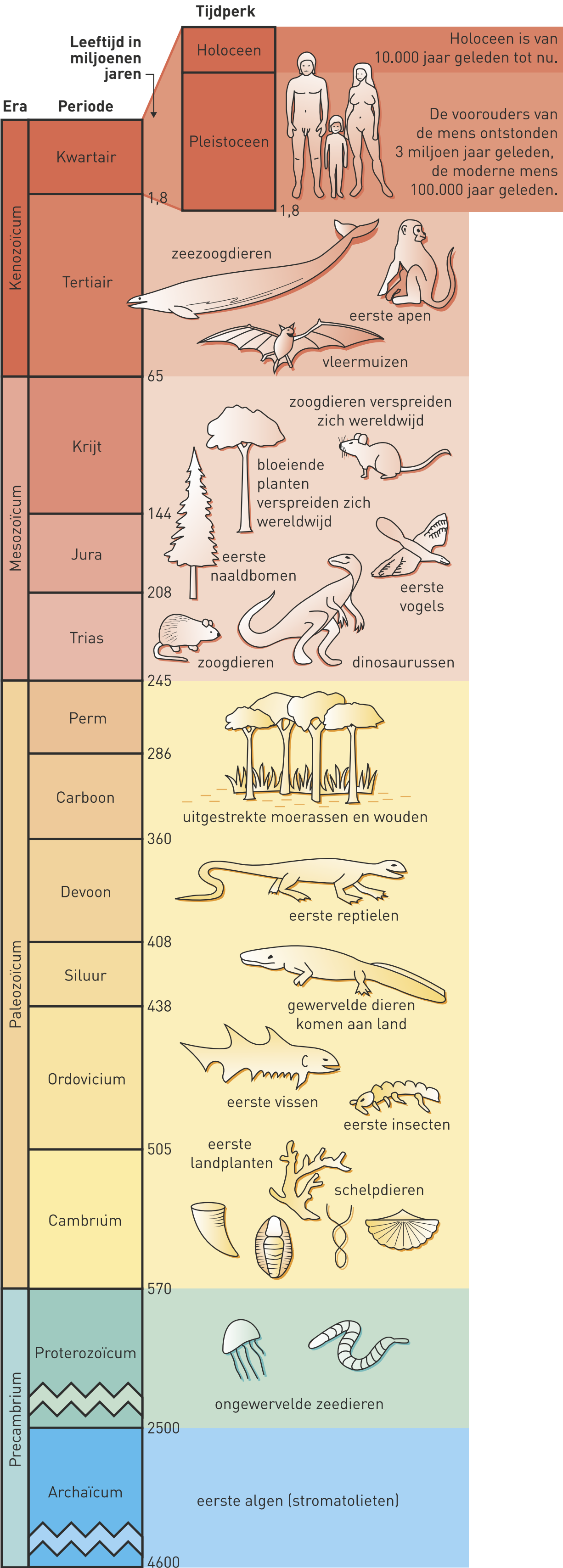
1 Alle sedimenten worden in horizontale beddingen afgezet. Als de lagen geplooid zijn, weet je dat ze door druk zijn vervormd, nadat ze eerst horizontaal zijn neergelegd.
2 Als lagen sedimenten op elkaar liggen, is de onderliggende ouder dan de bovenliggende laag. Dit heet het principe van superpositie (figuur 1.15).

> superpositie

● Met behulp van deze twee principes kon men de relatieve ouderdom van gesteenten bepalen. Sedimenten worden dus horizontaal neergelegd, maar ze kunnen bij de vorming van gebergten vervormd worden en omhoog gedrukt. Daarna worden ze door erosie weer deels afgesleten. Al die processen duren erg lang, langer dan zesduizend jaar. De aarde moest, volgens geologen, dus veel ouder zijn, misschien wel oneindig oud. Met behulp van deze dateringsmethoden en het veelvuldig vergelijken van gesteenten over de hele wereld kon men



Figuur 1.15 De onderliggende lagen van dit gesteente zijn ouder dan de bovenliggende lagen.



Figuur 1.16 Geologische tijdschaal.

een geologische tijdschaal opstellen (figuur 1.16). Elke periode in die tijdschaal komt overeen met een serie gesteenten en kenmerkende fossielen (gidsfossielen). De tijdsindeling was relatief. Gesteenten en fossielen zijn ouder of jonger dan andere gesteenten, maar een exacte datering was nog niet bekend.

● In de twintigste eeuw ontdekte men dat met het radioactieve verval van bepaalde elementen in gesteenten de absolute ouderdom van gesteenten bepaald kon worden. Na onderzoek over de hele wereld van vele gesteenten heeft men in Australië de tot nu toe oudste steen gevonden: ongeveer 4,4 miljard jaar oud. De wetenschappers komen op grond daarvan tot een ouderdom van de aarde van 4,6 miljard jaar oud.
De relatieve geologische tijdschaal kon sindsdien verfijnd en aangepast worden. Bij de tijdsperioden staan nu ook de jaren en daarmee is het een absolute tijdschaal geworden.

De schuivende continenten van Wegener

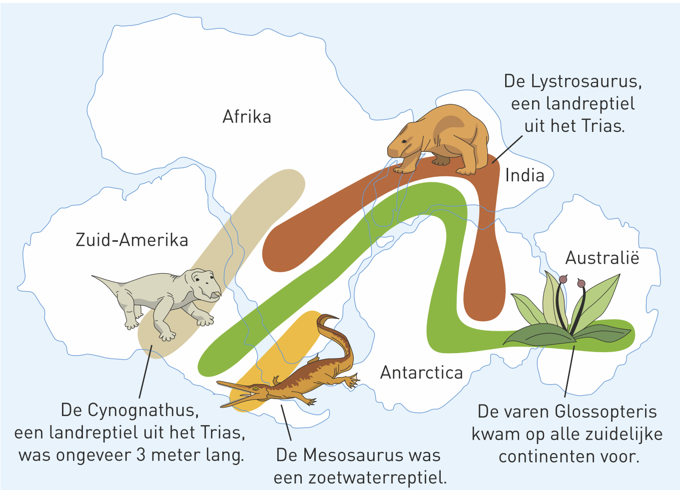
▶ De Engelse filosoof en wetenschapper Francis Bacon beschreef in 1620 al de overeenkomst in kustvorm van Zuid-Amerika en Afrika. De beide continenten leken als stukjes van een legpuzzel in elkaar te passen. Niemand begreep in die tijd hoe die continenten van elkaar losgerukt hadden kunnen worden en waardoor ze nu zo ver van elkaar lagen. Omstreeks 1915 werd de discussie over de vormovereenkomsten tussen de oostkust van Zuid-Amerika en de westkust van Afrika weer nieuw leven ingeblazen. Een Duitse meteoroloog, Alfred Wegener, kwam met nieuwe bevindingen.

■ De flora en fauna van de verschillende continenten vertonen zoveel overeenkomsten dat de continenten ooit aan elkaar vastgezeten moeten hebben. Wegener staafde deze bewering onder andere met de verspreiding van een zoetwaterreptiel, de Mosasaurus (figuur 1.17).

■ De gesteenten in Zuid-Amerika en Afrika sluiten op elkaar aan. De grenzen tussen de verschillende gesteenten en gebergteketens lopen van Zuid-Amerika bijna naadloos door in Afrika, wanneer je deze continenten aan elkaar zou leggen.

■ In verschillende continenten zijn aanwijzingen gevonden voor een gelijktijdige vergletsjering. Alleen als je ervan uitgaat dat deze gebieden ooit dicht bij elkaar lagen, kun je verklaren dat een zeer groot gebied, nu verspreid over verschillende continenten, in dezelfde tijd onder koude klimaat-omstandigheden bedekt is geweest met een grote ijskap.

> geologische tijdschaal



Figuur 1.17 Vindplaatsen van fossielen op de zuidelijke delen van Pangea.

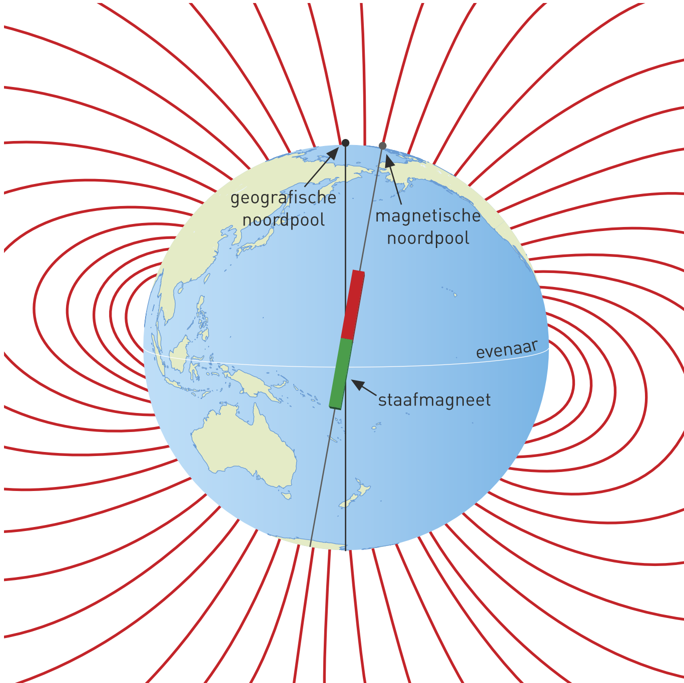
Wegener kwam tot de conclusie dat de continenten Afrika en Zuid-Amerika aan elkaar vast hebben gezeten en dat ze ten opzichte van elkaar hebben bewogen. Ooit vormden de continenten een aangesloten supercontinent dat hij Pangea noemde (figuur 1.17). Wegener werd in die tijd door geologen niet geloofd. Zijn ideeën weken te sterk af van de gangbare ideeën over de aarde. Hij kon bovendien geen verklaring geven voor de beweging van de continenten. Welke kracht was groot genoeg om de continenten dwars door hele platen oceaankorst heen te trekken? Dertig jaar na zijn dood kwamen er nieuwe aanwijzingen dat Wegener het toch bij het rechte eind had.

Paleomagnetisme

▶ Rond 1960 was met echopeilingen op zee ontdekt dat midden in de Atlantische Oceaan van noord naar zuid een bergketen van duizenden kilometers lengte loopt. Dit kon wel eens de sleutel zijn voor de schuivende continenten.

▶ Rond diezelfde tijd werd een nieuw onderzoeksmiddel toegepast: het paleomagnetisme. Met deze methode kan de richting van het aardmagnetisch veld in oude gesteente-formaties worden vastgesteld. De aarde is een enorme magneet met een vloeibare buitenkern van ijzer (figuur 1.18). Door de draaiing van de aarde om haar as wordt een aardmagnetisch veld opgewekt. Op dit moment wijst het magnetisch veld naar het magnetische noorden, vlak bij de Noordpool. Dit magnetische noorden ligt niet altijd op dezelfde plek. Soms verandert de magnetische noordpool in relatief zeer korte tijd (vijfduizend tot tienduizend jaar) in de zuidpool en andersom.

> paleomagnetisme



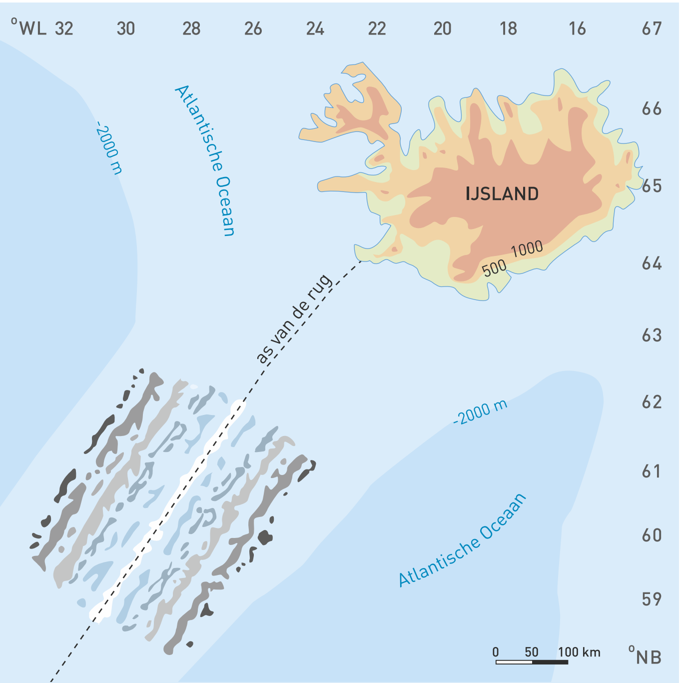
Figuur 1.18 Het magnetisch veld van de aarde.

In veel stollingsgesteenten zitten ijzerhoudende mineralen. Wanneer gesteente ergens op aarde stolt, richten de mineralen zich naar het heersende magnetisch veld, dus naar het magnetische noorden van dat moment. Zo vond men gesteenten met een normale magnetische gerichtheid, maar ook gesteenten waarbij het magnetische noorden overeenkomt met de huidige Zuidpool.

● Geologen onderzochten vervolgens het magnetisme van gesteenten van de oceaanbodem. Ze vonden een afwisselend patroon in het magnetisme, zoals in figuur 1.19 te zien is voor het gebied ten zuiden van IJsland. Gebieden waarbij het magnetische noorden niet afweek van de huidige positie, werden afgewisseld met gebieden waarbij het magnetische noorden volledig afweek van de huidige positie. Het patroon aan weerszijden van de oceanische bergrug was perfect symmetrisch.

De oceaanbodem spreidt zich

▶ Uit de resultaten bleek dat midden in de oceaan bij de langgerekte bergruggen magma omhoogkomt en stolt bij een grote breuklijn op de rug. De ijzermineralen van het gestolde gesteente krijgen de richting van het magnetisch veld van dat moment. Verder van de rug vandaan ligt aan weerszijden ouder gesteente dat vroeger ook op de mid-oceanische rug heeft gelegen, maar van de rug is weggeduwd door nieuwe lava. Die



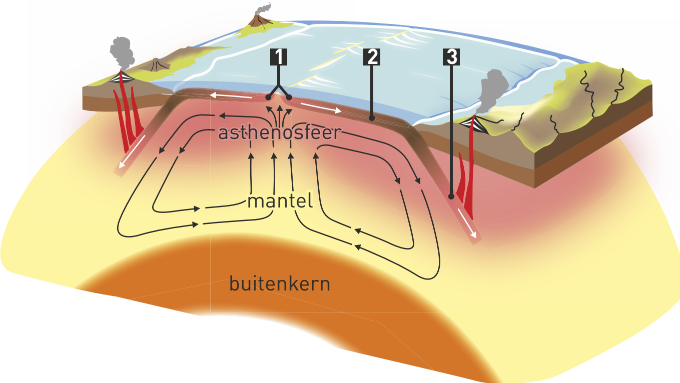
Figuur 1.19 Het magnetisch veld aan weerszijden van de mid-oceanische rug ten zuiden van IJsland.

oudere lagen hebben een omgekeerde magnetische gerichtheid. Nog verder ligt weer een strook gesteente met een 'normale' magnetische richting van een nog hogere ouderdom. De platen bewegen zich dus steeds verder van de rug vandaan. Dit wordt ook wel seafloor spreading genoemd. Amerika en Europa hebben vroeger tegen elkaar aan gelegen. De oceanische plaat groeit vanuit het midden aan. De oceaan wordt zo, naar twee kanten toe, steeds breder. De bodem is jong in het midden en ouder naarmate je aan weerszijden verder van de rug af komt.
● Satellieten die tegenwoordig de afstanden tussen de continenten zeer nauwkeurig kunnen meten, laten ook zien dat de Atlantische Oceaan elk jaar iets breder wordt. En zo kan de duiker op IJsland uit de inleiding zich bewegen in de breuklijn tussen de twee platen bij de oceanische rug. De juistheid van de theorie van Wegener over de vroegere ligging van de continenten is hiermee bewezen. En met de bevindingen van het ontstaan van nieuwe oceaanbodem kan de beweging van de continenten nu ook verklaard worden. Wegener wordt daarom tegenwoordig gezien als de grondlegger van de theorie van de schuivende continenten of platentektoniek.

> platentektoniek

De motor van de plaatbewegingen

▶ Een bewegende plaat bestaat niet alleen uit aardkorst, maar omvat ook het harde gedeelte van de aardmantel. Het gaat dus om de lithosfeer. De beweging van de platen wordt aangedreven door heet gesteente. Door de hitte in het binnenste van de aarde stijgt heet gesteente op; dit smelt door de verminderde druk tot magma en koelt langzaam af tot heet plastisch gesteente. In de buurt van de lithosfeer verspreidt het hete materiaal zich onder de harde lithosfeer naar twee kanten (figuur 1.20). De platen lithosfeer worden traag door deze bewegende plastische asthenosfeer meegevoerd. Het hete magma koelt langzaam af en zal weer naar de diepte zakken. Wetenschappers denken tegenwoordig dat deze stroming zeer diep tot aan de aardkern plaatsvindt (figuur 1.20). Daarna welt het warme gesteente weer op. Deze kringlopen van warm, langzaam bewegend gesteente worden convectiestromen genoemd. Zij zorgen daarmee ook voor een langzame afkoeling van de aarde.



Figuur 1.20 Convectiestromen in de aardmantel.

> convectiestromen



1.4 Plaatgrenzen en aardbevingen

De redding van Kiki

Lachend strekt Kiki, acht jaar oud, voor het eerst sinds zeven dagen zijn armen uit, wanneer hij wordt gered. Al die tijd lag hij samen met zijn tienjarige zusje in een krappe ruimte onder dikke lagen beton van een ingestorte supermarkt in Port-au-Prince in Haïti. Reddingswerkers hadden een smal gat in het beton gedrild om de kinderen te redden. De redding gaf de overlevenden van de zware aardbeving in januari 2010 in Haïti een beetje hoop. Bij de ramp vielen minstens 220.000 doden.

Aardbevingen

▶ De hele lithosfeer van de aarde bestaat uit zes grote platen en ongeveer tien kleine platen. Soms bevat een plaat alleen een stuk oceaan of een stuk continent, maar er zijn ook platen waarop zowel een continent als een stuk oceaan liggen. De platen bewegen ten opzichte van elkaar. Aan de randen bevinden zich instabiele zones, breuklijnen, waar allerlei heftige verschijnselen kunnen optreden. Haïti ligt op zo'n breuklijn. De gesteentelagen kunnen lange tijd onder druk komen te staan. De energie hoopt zich op en na verloop van tijd kan de laag breken of opschuiven. Het verschuiven van de gesteenten langs de breuklijn veroorzaakt trillingen. Dit is een aardbeving. De plaats van de beving in de aardkorst of de aardmantel heet het hypocentrum. De trillingen, ook wel seismische golven genoemd, verplaatsen zich naar het aardoppervlak. Direct boven het hypocentrum, aan het aardoppervlak, ligt het epicentrum. Daar wordt de beving over het algemeen het heftigst gevoeld en is de schade het grootst.

> aardbeving

Richter en Mercalli

▶ De meeste van de duizenden aardbevingen per jaar voel je niet. Die zijn alleen met een seismograaf, dicht in de buurt van het epicentrum, te meten. Soms zijn de bevingen echter zeer krachtig. Denk maar aan de vernietigende aardbeving in Haïti in 2010 of die in Pakistan in 2005. Deze bevingen werden bijna overal op de wereld gemeten en werden in een zeer groot gebied gevoeld. De kracht van de aardbevingen kan dus sterk variëren. De wetenschapper Richter heeft een logaritmische schaal bedacht om de vrijgekomen energie bij aardbevingen aan te geven (figuur 1.21). Een beving met magnitude 4 is tien keer zo sterk als een beving met magnitude 3 en dus honderd keer zo sterk als een beving met magnitude 2.

● De gemeten magnitude zegt niet altijd iets over de schade in een gebied. Dichtbevolkte gebieden zullen meer schade ondervinden van een aardbeving met kracht 6 op de schaal

> hypocentrum
> epicentrum
> magnitude

Schaal van Richter magnitude	Schaal van Mercalli intensiteit	
9	XII	**Buitengewoon catastrofaal** - algehele verwoesting, scheuren in rotsen, verandering in landschap, talloze aardverschuivingen
8	XI	**Catastrofaal** - algehele verwoesting van gebouwen, rails verbuigen, ondergrondse leidingen vernield
	X	**Vernietigend** - verwoesting van veel gebouwen, grondverplaatsingen en scheuren in de aarde
7	IX	**Verwoestend** - veel gebouwen zwaar beschadigd, funderingen en ondergrondse pijleidingen beschadigd
6	VIII	**Vernielend** - paniek, algehele schade aan gebouwen, zwakke bouwwerken gedeeltelijk vernield
	VII	**Zeer sterk** - veel gebouwen beschadigd, schoorstenen vallen om, golven in vijvers, kerkklokken luiden vanzelf
5	VI	**Sterk** - schrikreacties, voorwerpen in huis vallen om, bomen bewegen, zwakke huizen beschadigd
4	V	**Vrij sterk** - door allen gevoeld, hangende voorwerpen bewegen
	IV	**Matig** - door velen gevoeld, trilling als van zwaar verkeer, rammelende ramen en deuren
3	III	**Licht** - door enkele personen gevoeld, trilling als voorbijgaand verkeer
2	II	**Zeer licht** - onder gunstige omstandigheden gevoeld
1	I	alleen door seismograaf geregistreerd

Figuur 1.21 De schalen van Richter en Mercalli.

Convectiestromen en de beweging van de platen

Figuur 1.23 Divergente en convergente breuklijnen, ridge push en slab pull.

van Richter dan een zeer dunbevolkt gebied. Bij zacht gesteente, en zeker gesteente verzadigd met water, is de intensiteit van de beving groter dan bij hard gesteente. En ondiepe aardbevingen veroorzaken meer schade dan diepe aardbevingen. Daarom gebruikt men ook wel een andere

Figuur 1.22 De belangrijkste platen van de aarde en hun bewegingsrichting.

schaal, de schaal van Mercalli, die de intensiteit en de schade van een mogelijke beving in een bepaald gebied aangeeft (figuur 1.21).

Plaatgrenzen

▶ De aardbevingen in Pakistan en Haïti zijn niet op dezelfde manier veroorzaakt. De bewegingen van de platen in beide gebieden waren anders. Figuur 1.22 laat de platen met hun bewegingsrichting zien. Wat opvalt, is dat de platen zich grofweg gezien op drie manieren ten opzichte van elkaar verplaatsen. Dit leidt tot drie typen begrenzingen, breuklijnen, tussen de platen.

▶ Bij een divergente breuklijn bewegen de platen van elkaar af. Dit zijn meestal twee oceanische platen. Denk daarbij bijvoorbeeld aan de Midden-Atlantische Rug. Magma duwt de oceaanplaat omhoog en komt via scheuren aan de oppervlakte. Zo wordt door de opstuwing een bergrug onder zee gevormd. Het nieuw gevormde basalt duwt het oudere stollingsgesteente opzij. Door de zwaartekracht zakt het materiaal van de mid-oceanische rug en wordt het steeds verder weggeduwd door nieuw magma dat op de rug aan de oppervlakte komt. Dit proces heet ridge push (figuur 1.23). Op deze manier wordt nieuwe, oceanische korst gevormd. De vulkanen die uit de gestolde lava op de oceanische rug zijn gevormd, zijn niet explosief van aard. In paragraaf 1.5 komen we daarop terug. De aardbevingen die bij deze wijkende plaatbeweging of door het vulkanisme worden veroorzaakt, zijn over het algemeen zwak. De druk is niet zo hoog.

● Soms scheuren twee continentale platen. De divergente breuklijn die daarbij ontstaat, is te herkennen aan een brede, diepe vallei. Bij Thingvellir, op IJsland, drijven de Amerikaanse plaat en de Euraziatische plaat uit elkaar met een snelheid van gemiddeld 3 mm/jaar. De bodem zakt met 1 mm/jaar de diepte in. De scheur is goed te zien in het landschap (figuur 1.24). Ook al wisten de IJslanders vroeger niets over de bewegende platen, het is voor hen al eeuwenlang een bijzondere plek. Hier kwam al vanaf het jaar 930 het parlement bijeen om te vergaderen.

▶ Wanneer er in het midden van de oceanen continu nieuwe lithosfeer wordt gevormd, moeten er ook plaatsen zijn waar lithosfeer verdwijnt. De oppervlakte van de aarde wordt immers niet groter. Dit verdwijnen van lithosfeer gebeurt bij botsingen

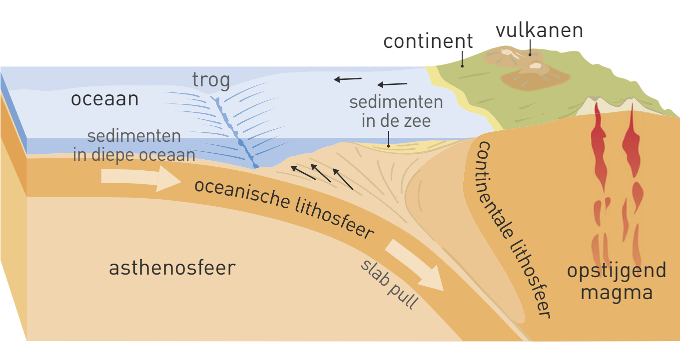
> schaal van Mercalli
> divergente breuklijn
> ridge push

Figuur 1.24 De breuk bij Thingvellir, de divergente breukzone op IJsland. De kloof heet Almannagjá, en wordt begrensd door twee platen.

van platen. De breuklijn bij botsende platen heet een convergente breuklijn. Daarbij zijn drie variaties mogelijk, afhankelijk van het type plaat.

● *Een oceanische plaat botst tegen een continentale plaat.* Dit gebeurt bij Chili (Zuid-Amerika) (figuur 1.22). Hoewel de oceanische plaat dunner is, is hij zwaarder. Het stollingsgesteente basalt van de oceanische plaat heeft een grotere soortelijke massa dan het gesteente graniet dat veel voorkomt

> convergente breuklijn



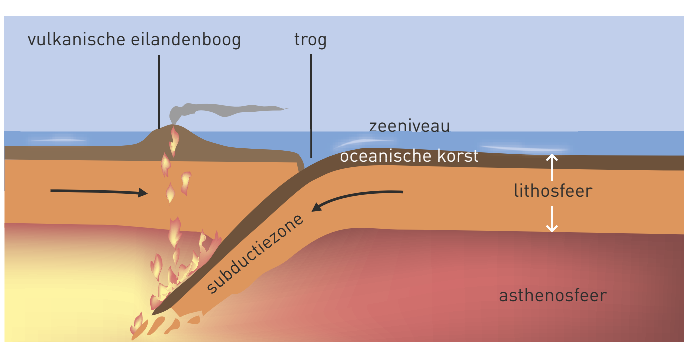
Figuur 1.25 Subductie bij een continentale en oceanische plaat.

op de continenten. De zware oceanische plaat duikt bij de botsing onder de continentale plaat (figuur 1.25). Dit proces heet subductie. De convectiestroom in de asthenosfeer trekt de plaat als het ware tot wel zo'n 700 km de diepte in. Door deze slab pull wordt ook een deel van de rand van de continentale plaat meegesleurd. Er ontstaat een diepe kloof in de zeebodem, een trog. De oceanische lithosfeer die schuin onder de continentale lithosfeer is gezakt, zal in de diepte smelten. Magmabellen reizen omhoog en koelen weer af. Een deel van het magma zal langzaam stollen waardoor de continentale korst van onder aangroeit met graniet. Een deel zal verder omhoogkomen en bergketens en explosieve vulkanen vormen. De bergen en vulkanen vormen een langgerekte bergketen op het continent, evenwijdig aan de trog en de breuklijn (figuur 1.25). Op deze manier is de langwerpige bergketen de Andes gevormd.
De aardbevingen bij deze convergente breuklijnen met botsende platen kunnen zeer zwaar zijn.

- *Een oceanische plaat botst tegen een andere oceanische plaat.* De oudste oceanische plaat heeft langer kunnen afkoelen en heeft daardoor een hogere dichtheid. Deze plaat is zwaarder en zal dus onder de jongere oceanische plaat duiken. Ook hier ontstaan een diepzeetrog en gebergten met vulkanen (figuur 1.26). Deze liggen niet op een continent, maar vormen een eilandenboog, zoals de eilanden van de Filipijnen. Ook hier kunnen zich zware aardbevingen voordoen.

▪ Bij bovenstaande typen bewegingen kan een beving onder zee een vloedgolf veroorzaken. Een voorwaarde daarbij is dat de zeebodem door de beving omhoog komt (figuur 1.27). Deze beweging veroorzaakt een golfbeweging in het water van de oceaan. Die golf beweegt zich met een snelheid van wel

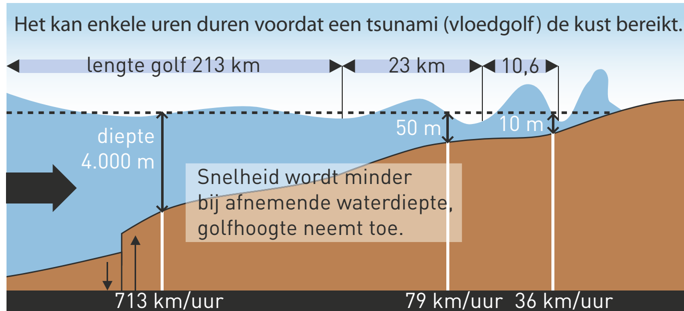
> subductie
> slab pull
> trog



Figuur 1.26 Convergentie van twee oceanische platen.

800 km/uur door het water. De hoogte van die golf is op volle zee hoogstens een paar decimeter. Komt de golf echter aan bij de langzaam oplopende zeebodems bij de kusten van de continenten, dan vertraagt de golfbeweging en wordt de golf hoger door de samengedrukte energie. De zee trekt zich, door het vertragende effect bij de kust, eerst terug, maar overspoelt die kust daarna met een enorme golf. Zo'n golf heet een tsunami. In maart 2011 werd de noordoostkust van Japan getroffen door een tsunami, waarbij duizenden doden te betreuren waren (figuur 1.28).

- *Een continentale plaat botst tegen een andere continentale plaat.* Een goed voorbeeld hiervan is de begrenzing tussen India en de Euraziatische plaat. Bij deze convergente breukzone zijn de platen 'even zwaar' of beter gezegd: 'even licht'. Want de continentale lithosfeer is, ondanks de grotere dikte, minder zwaar dan een oceanische plaat. Geen van beide continentale platen zal de diepte induiken. Ze blijven 'drijven' op de zachtere asthenosfeer. Het gesteente smelt niet, dus er ontstaan geen vulkanen. Omdat de platen verfrommeld worden, ontstaat er een hoog gebergte, waarbij de lithosfeer erg dik wordt (figuur



Door de verticale beweging van de platen wordt de waterkolom omhoog gedrukt en verplaatst zich vervolgens horizontaal met grote snelheid. Bij het land wordt de snelheid afgeremd.

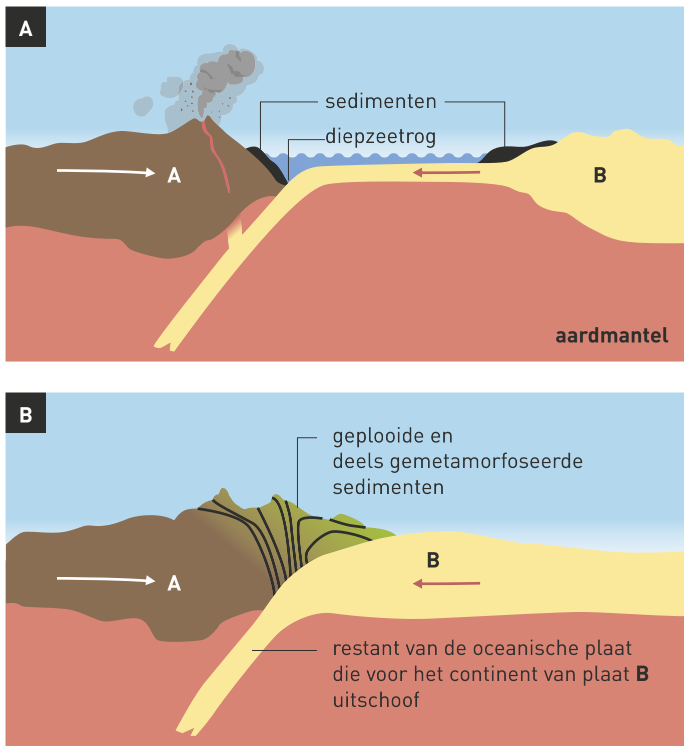
Figuur 1.27 Het ontstaan van een tsunami.

> tsunami



Figuur 1.28 Tsunami 2011 aan de noordoostkust van Japan.

1.29). Gesteenten kunnen door de hoge druk en temperatuur geplooid worden en een metamorfose ondergaan. Lagen die diep in de ondergrond liggen, kunnen door deze krachten honderden tot duizenden meters omhoogkomen. Zo zijn de hoge bergen van de Himalaya gevormd. Dat ook daar door de wrijving van de botsende platen heftige aardbevingen kunnen



Figuur 1.29 De vorming van een gebergte door botsende continentale platen.

voorkomen, bleek bij de aardbeving in oktober 2005 op het grensgebied tussen India en Pakistan.

▶ Ten slotte is er de transversale breuklijn, waar twee platen langs elkaar bewegen. Je vindt ze op de oceaanbodem, dwars op de divergente breuklijnen van de mid-oceanische ruggen. Soms komen ze ook voor op de continenten. De bekendste transforme breuklijnen bevinden zich bij San Francisco (figuur 1.30) en in Turkije. Maar ook bij Haïti ligt zo'n type breuklijn. De spanning langs zo'n breuklijn kan zich lang ophopen, waarna de twee platen bij een beving soms wel een tiental meters ten opzichte



Figuur 1.30 De San Andreas breuk (California) is een transversale breuklijn.

> transversale breuklijn



Figuur 1.31 Gevolgen van de aardbeving in Haïti, januari 2010.

van elkaar kunnen verschuiven (figuur 1.31). Ook bij de breukzone in California hebben al heel wat zware aardbevingen plaatsgevonden. Vulkanisme komt hier niet voor, want er duikt geen plaat de diepte in, die voor gesmolten gesteente kan zorgen.

Jonge oceanen en oude continenten

▶ Je hebt gezien dat nieuwe oceaanbodem die gevormd is op de mid-oceanische ruggen, zich van de rug verwijdert. Op andere plaatsen verdwijnt oceaanbodem. Bij de subductiezones duikt de oceanische plaat namelijk onder de continentale lithosfeer. Hierdoor is het oudste gesteente van de oceaanbodem relatief jong: hoogstens zo'n 200 miljoen jaar oud.

▶ De gebergten op de continenten die zijn ontstaan door de platentektoniek, zullen ten prooi vallen aan verwering. Vervolgens vindt er erosie plaats door het transport van dit verweringmateriaal door rivieren, gletsjers en wind. Uiteindelijk wordt het gruis als sediment aan de randen van de continenten afgezet. Wanneer deze rand van het continent veel later opnieuw in botsing komt met een andere plaat, kunnen de afzettingen door subductie in de diepte terechtkomen. De gesteenten die verder van de randen van de platen af liggen, midden op continentale platen, komen nooit in een subductiezone terecht. Daarom zijn grote delen van de continentale korst veel ouder dan de oceaanbodem. Het zijn de zogenoemde schilden. Ze dateren uit het Precambrium en zijn 600 miljoen tot 4 miljard jaar oud. Vaak zijn de oude schilden bedekt met jongere sedimenten. Een voorbeeld van zo'n oud schild is het Baltische schild in Europa.

> schilden



1.5 Vulkanen

Vulkaanuitbarsting in Ecuador

In juni 2010 barstte de vulkaan de Tungurahua in Ecuador uit. De 185 km verderop gelegen stad Guyaquil werd bedekt met een laag as. Honderden mensen werden geëvacueerd. De grote kratermond is drieduizend jaar geleden bij een enorme explosie gevormd. Daarna was het een tijd rustiger. Maar sinds 1999 spuwt de voor ons vrij onbekende vulkaan regelmatig as en lava uit en vormt hij een bedreiging voor vele mensen. Zeven mensen, waaronder twee wetenschappers, zijn bij deze uitbarsting omgekomen.

Geen willekeur

▶ Vulkanisme is een proces waarbij magma vanuit het binnenste van de aarde door de mantel en de korst omhoog dringt en als lava aan het aardoppervlak naar buiten komt. Daar stolt het tot hard vulkanisch gesteente. Dit gebeurt niet zomaar op willekeurige plekken. De platentektoniek en de convectiestromen kunnen het ontstaan, de plek van voorkomen en zelfs het type vulkaan verklaren. Ook in de manier van uitbarsten is een duidelijk onderscheid te maken.

▶ De eerste categorie vormen de centrale uitbarstingen. Bij een centrale uitbarsting komt het magma via de kraterpijp en één krater naar buiten. Het eruptiemateriaal vormt daarbij een berg met flauwe of steile hellingen. Soms barst de vulkaan uit via een aantal kleine zijkraterpijpen. Centrale uitbarstingen vind je bij schildvulkanen, stratovulkanen en caldeira's.

Schildvulkanen

● Op IJsland ligt de vulkaan de Skjaldbreidur. Skjaldbreidur betekent letterlijk breed schild. Dat is een toepasselijke naam als je naar figuur 1.32 kijkt. Negenduizend jaar geleden is deze schildvulkaan met zijn vele uitgestrekte lagen basalt gevormd. Je vindt dit type vulkaan bij divergente breukzones op land, op eilanden



Figuur 1.32 De Skjaldbreidur op IJsland.

> schildvulkanen
> stratovulkanen
> caldeira's

bij de mid-oceanische ruggen en bij hotspots (zie verderop). Diep in de aarde gelegen gesteenten stijgen met de convectiestromen langzaam vanuit de mantel omhoog. Door de verminderde druk daalt de smelttemperatuur. Ondanks het feit dat het omringende gesteente dichter bij het aardoppervlak koeler is, zal het opstijgende gesteente door die lagere smelttemperatuur gaan smelten. Het wordt magma en komt bij de divergente breukzone aan het aardoppervlak. Via de kratermond vloeit de lava, bestaande uit basalt, makkelijk uit en verspreidt zich over een groot oppervlak over de flanken van de vulkaan. Zo wordt laag na laag een zeer omvangrijke vulkaan opgebouwd met flauwe hellingen (figuur 1.32). De uitbarstingen zijn niet explosief, maar vrij rustig van aard. Dit worden effusieve uitbarstingen genoemd.

Stratovulkanen

● De meer dan 5.000 m hoge vulkaan de Popocatépetl in Mexico rijst ver boven zijn omgeving uit en heeft steile hellingen (figuur 1.33). Zijn naam, Popocatépetl, oftewel 'rokende berg', onthult al iets van zijn dreiging. In 1947, 1994 en in 2000 was hij actief. Hij behoort tot de stratovulkanen. Deze vulkaansoort is opgebouwd uit lagen (stratus = laag) van verschillende samenstellingen. Afwisselend worden taai stromende lava, as, vulkanische bommen en puimsteen uitgestoten.

● Dit type vulkaan vind je meestal bij de subductiezones, daar waar twee platen botsen en een oceanische plaat de diepte in verdwijnt. In de oceanische lithosfeer zit veel water opgesloten. Het zeewater sijpelt via scheuren in de plaat de diepte in. Wanneer de plaat door de subductie diep onder het aardoppervlak komt, wordt het water door de hogere druk heet. De



Figuur 1.33 De Popocatépetl in Mexico.

> effusieve uitbarstingen

smelttemperatuur van het omringende gesteente gaat daardoor omlaag. Het gesteente zal al op een paar honderd kilometer diepte gaan smelten. Behalve het vloeibare basalt van de oceanische plaat smelt ook het continentale gesteente dat mee omlaag wordt gesleurd. Bovendien zal het magma dat vervolgens stijgt, het omringende continentale gesteente doen smelten. Het continentale gesteente heeft een andere samenstelling en is in gesmolten toestand erg stroperig en taai. Samen vormt dit een mengsel dat veel minder vloeibaar is dan het magma bij schildvulkanen bij divergente breukzones. Het magma kruipt langzaam omhoog en stolt in de buurt van het aardoppervlak. De kraterpijpen in de vulkaan raken daardoor verstopt en belemmeren het uitstromen van nieuw, opstijgend magma. Er bouwt zich zo een hoge druk op. Bij zeer explosieve uitbarstingen komt deze druk vrij. Het effect wordt nog versterkt door het CO^2 dat in het water in het gesteente zit opgesloten. Eerst wordt de prop in de vulkaankegel weggeblazen. Vulkanische bommen, as en puimsteen worden hoog de lucht in geblazen. Soms kunnen stromen van hete as, stof en gassen in een gloeiend hete wolk met enorme snelheid de hellingen afrollen. Dit noem je pyroclastische stromen (figuur 1.34). Daarna komt de vloeibare lava van andesiet uit de vulkaan. Dit type lava is minder vloeibaar dan lava van basalt en zal dus eerder stollen. Zo wordt een stratovulkaan met steile hellingen, zoals de Popocatépetl, opgebouwd.

Caldeira's

● Op figuur 1.35 zie je een groot meer. Dit is Crater Lake, een kratermeer van 9 km doorsnede in de V.S. Ruim zevenduizend jaar geleden is de vulkaan Mazama hier tijdens een enorme ontploffing ingestort, waardoor deze caldeira ontstond. Soms zit de magmakamer van een vulkaan slechts op enkele honderden meters diepte. Bij een zeer krachtige vulkaanuitbarsting kan de magmakamer voor een groot deel leeglopen. De bovenliggende gesteentelagen, het 'dak' van de magmakamer, worden vervolgens niet meer voldoende gesteund, waardoor het hele gebied kan instorten. Er ontstaat dan een groot komvormig gebied van enkele kilometers tot soms wel 50 km in doorsnede! Het ontstaan van zo'n caldeira is een catastrofale gebeurtenis, die zich in de recente geschiedenis van de aarde gelukkig niet heeft voorgedaan.

> explosieve uitbarstingen
> pyroclastische stromen



Figuur 1.34 Een pyroclastische uitbarsting van de Pinatubo op de Filipijnen.



Figuur 1.35 Caldeira Crater Lake in de V.S.

▶ Behalve centrale uitbarstingen komen ook spleeterupties voor. Dan komt de lava naar buiten via scheuren van tientallen kilometers lengte in de aardkorst. De lava is zeer vloeibaar en stolt tot basalt. Spleeterupties komen vaak voor in breukzones op de mid-oceanische ruggen. Maar je vindt ze met name bij mantelpluimen en hotspots (zie hieronder). De enige zeer krachtige spleeteruptie in de geschreven geschiedenis is die in 1783 op IJsland bij Lakagigar (figuur 1.36). Je ziet een rij opengereten vulkaantjes, met elkaar verbonden via scheuren in het aardoppervlak. Uit de spleten kwam veel lava dat ver uitvloeide. Hier en daar ontstonden bij zo'n spleet tegelijkertijd kleine vulkaantjes van as en puim.

> spleeterupties

Hotspot

▶ De meeste vulkanen komen, zoals je hiervoor hebt gelezen, voor bij breukzones tussen platen. Er zijn echter ook andere plekken op aarde (geweest) waar je vulkanen kunt aantreffen. De bekendste daarvan vind je op Hawaii. Deze vulkanen worden hotspots genoemd en ontstaan op de volgende manier.

● Vanuit het binnenste van de aarde, vanuit het gebied bij de rand tussen aardkern en aardmantel, stijgt soms een grote massa gesteente met zeer hoge temperatuur op naar het aardoppervlak. Dit worden mantelpluimen genoemd (figuur 1.37). Eenmaal in de buurt van het aardoppervlak zal de korst

> mantelpluimen



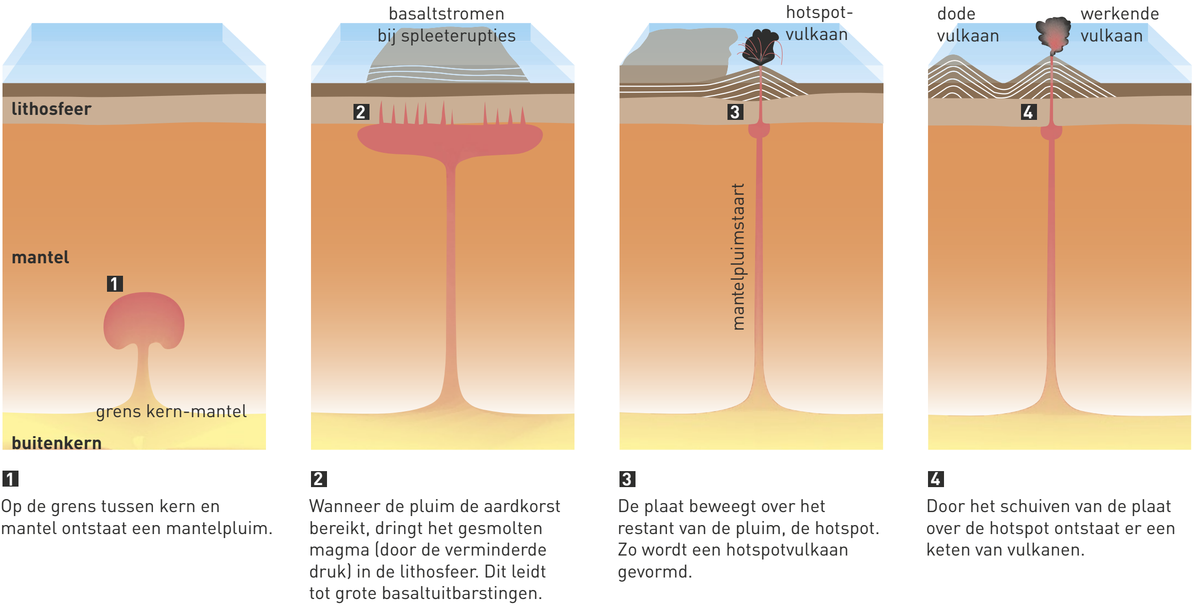
Figuur 1.36 Lakagigar, IJsland.

door de druk omhoog komen en scheuren. Via de zeer lange breuken kunnen, in relatief korte tijd (1 miljoen jaar), enorme hoeveelheden gesmolten basalt naar buiten stromen via spleeterupties. Deze basaltstromen stollen en zo ontstaan wel honderden meters dikke lagen lava die uitgestrekte plateaus vormen. Dit soort uitbarstingen moet gepaard zijn gegaan met heel veel zwaveluitstoot die de lucht vergiftigde. Deze langdurige uitbarstingen van vulkanisme hebben vroeger onder andere plaatsgevonden in India, Siberië en in de V.S. (figuur 1.38).

● Als de grootste hoeveelheid magma van de mantelpluim is uitgestroomd, blijft er nog een kleine mantelpluimstaart over. Het magma uit dit restant, de hotspot, vormt een vulkaan (figuur 1.37). De aardplaat met de gevormde vulkaan beweegt over de mantelpluimstaart heen. De oude vulkaan schuift op en dooft uit, waarna er boven de hotspot een nieuwe vulkaan zal ontstaan. Zo ontstaat een keten van vulkanen (figuur 1.37). De hoeveelheid lava bij een hotspot is vaak veel groter dan bij een 'gewone' vulkaan, maar minder dan bij een basaltstroom.

Black smokers

Op mid-oceanische ruggen en subductiezones heeft men eind zeventiger jaren van de vorige eeuw een verschijnsel onder water ontdekt, dat indirect te maken heeft met vulkanisme, namelijk



1 Op de grens tussen kern en mantel ontstaat een mantelpluim.

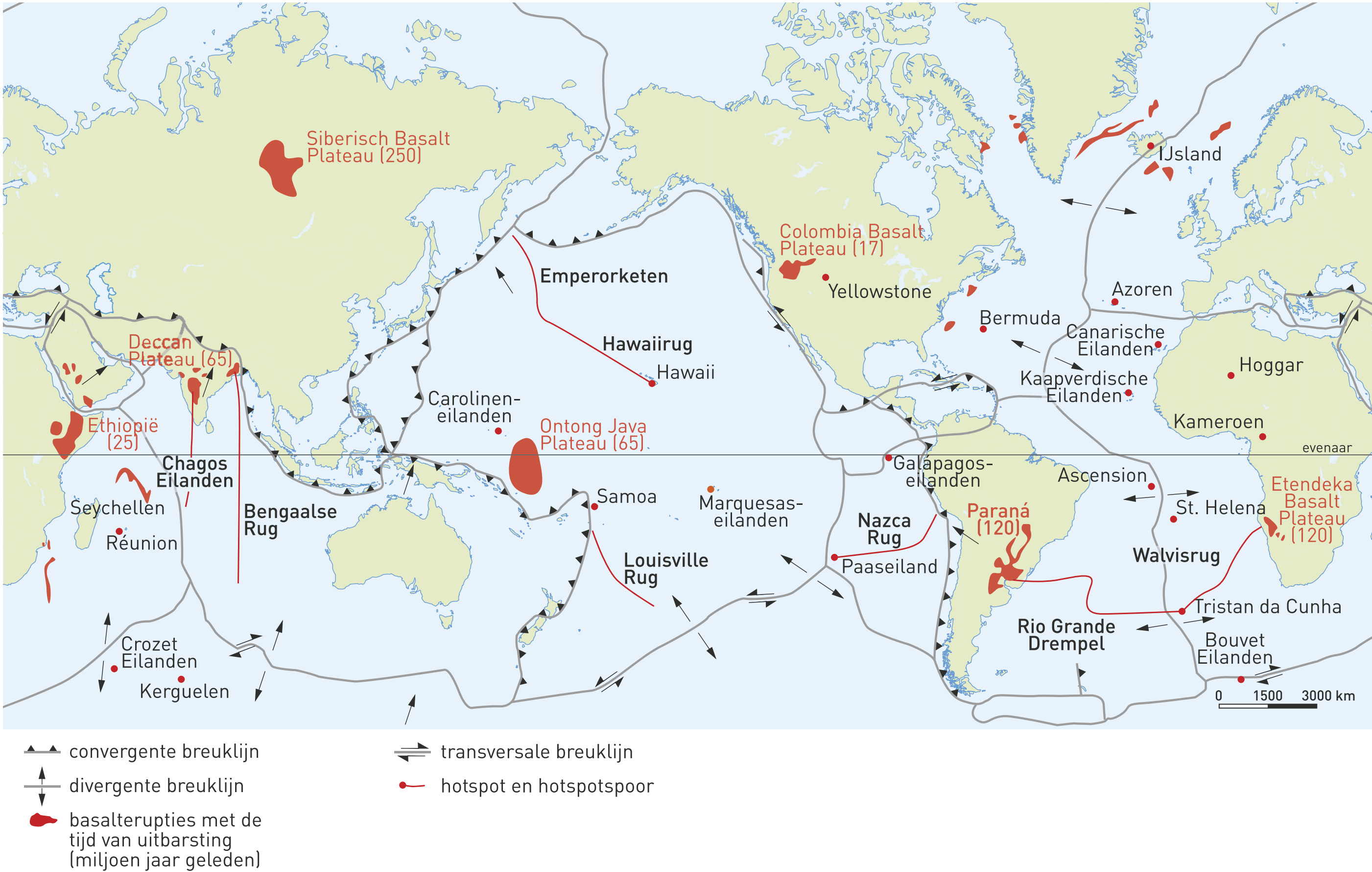
2 Wanneer de pluim de aardkorst bereikt, dringt het gesmolten magma (door de verminderde druk) in de lithosfeer. Dit leidt tot grote basaltuitbarstingen.

3 De plaat beweegt over het restant van de pluim, de hotspot. Zo wordt een hotspotvulkaan gevormd.

4 Door het schuiven van de plaat over de hotspot ontstaat er een keten van vulkanen.

Figuur 1.37 De vorming van basaltstromen en een hotspot.

> basaltstromen
> hotspot



Figuur 1.38 Het voorkomen van hotspots en basaltstromen.

de black smokers (figuur 1.39). Het zijn schoorstenen van mineralen die heet, zwart water uitstoten. Zeewater dat via breuken in de lithosfeer van de mid-oceanische ruggen komt, wordt sterk verwarmd, omdat magma daar op geringe diepte zit. De mineralen uit het gesteente worden in de diepte in het hete water opgelost. Het water dat naar buiten wordt geperst, staat op die diepte onder zeer hoge druk. Het water kookt dan bij een veel hoger kookpunt en heeft een temperatuur van zo'n 400 °C. Zodra dit water in contact komt met het koude zeewater, worden de mineralen weer afgezet. Zo ontstaat de schoorsteen. De schoorstenen kunnen metershoog worden. Op een gegeven moment vallen ze om en begint het proces opnieuw. Bij deze bijzondere schoorstenen vonden geologen unieke levensvormen. Deze kunnen in het hete water in het donker en onder hoge druk leven. Er leven geen planten, want er is geen licht. De wormachtige en kreeftachtige dieren blijken bacteriën te eten. De bacteriën gedijen goed in het warme water bij de black smokers.

> black smokers



Figuur 1.39 Black smoker.



1.6 Chili en IJsland onder de loep

Ooggetuige

Toen Pamela Medina in februari 2010 wakker werd geschud door een zware aardbeving, vluchtte ze met haar familie en meer dan 3.500 mensen uit haar dorp Dichato in Chili, naar de heuvels. Wat later zag ze de tsunami van wel tien meter hoogte aankomen, vlak voordat de kust en het dorp werden overspoeld. Ze zegt dat ze nooit meer het geluid van de instortende huizen zal vergeten: alsof duizenden stukken hout achter elkaar versplinterden.

▶ In de vorige paragrafen heb je over verschillende afzonderlijke endogene krachten kunnen lezen, zoals aardbevingen, vulkanisme en het bewegen van de platen. In deze paragraaf leer je hoe die verschillende krachten uitpakken in twee gebieden, Chili en IJsland.

Kwetsbaar Chili

▶ Chili grenst aan de Grote Oceaan. Als je de kaart van Chili (figuur 1.40) bekijkt, valt gelijk de vorm van het land op: zeer langgerekt en smal. Van noord naar zuid bedraagt de afstand maar liefst 4.300 km; van oost naar west gemiddeld 175 km. In het westen ligt slechts een smalle, vlakke kuststrook, waarna over het hele land de hoge bergketens van de Andes met veel vulkanen oprijzen. In het zuidelijke deel, vanaf het eiland Chiloé, bestaat de kust uit een wirwar van eilanden, baaien en fjorden. Het land wordt regelmatig getroffen door endogene krachten als aardbevingen, tsunami's en vulkaanuitbarstingen. Dit heeft direct te maken met de ligging en de platentektoniek.



Figuur 1.40 De vulkanen en de locaties van de aardbevingen in Chili.

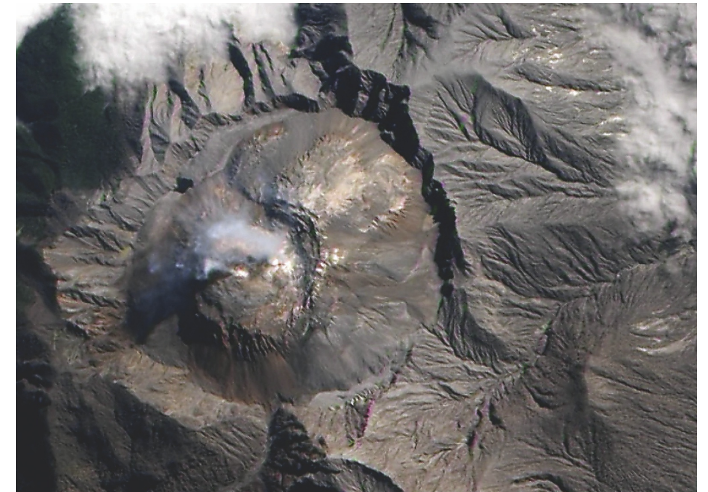
Vulkanen

▶ Op 1 mei 2008 kwam onverwacht de vulkaan de Chaitén weer tot leven. De vulkaan ligt in een afgelegen, ontoegankelijk gebied in een van de smalste delen van Chili. Na verschillende kleine aardbevingen in de voorafgaande dagen barstte de vulkaan uit. Een hoge askolom reikte tot 15 km de lucht in (figuur 1.41). Spoedig bedekte een dikke laag as en puimsteen de gebieden in de directe omgeving, tot in Argentinië en verder richting de oceaan. De laatste grote eruptie was 9.400 jaar geleden. Toen werd een kratermond van 3 km breedte gevormd.

● De vulkaan bleef maandenlang actief met asregens en lavastromen. De vijfduizend mensen uit het gelijknamig stadje Chaitén, op 10 km afstand gelegen, en uit de dorpen in de omgeving werden geëvacueerd. Zelfs honderden huisdieren, duizenden stuks vee en 600.000 zalmen van een kwekerij aan de kust werden uit het gebied gehaald. Vliegtuigen liepen schade op door de aswolk, en het vliegverkeer in grote delen van Chili, Argentinië en Uruguay kwam wekenlang stil te liggen. Bossen verbrandden door pyroclastische stromen. Rivierlopen raakten verstopt door de grote hoeveelheden as. En spoedig ontstonden daardoor overstromingen in de stad. Door Chili loopt van noord naar zuid één grote hoofdweg. Deze belangrijke toegangsweg naar het toeristische gebied Patagonië, ten zuiden van de vulkaan, was over een traject van een paar honderd kilometer maandenlang geblokkeerd. Het zuiden was per auto alleen met een zeer grote omweg door Argentinië bereikbaar. Na maanden werd de vulkaan wat rustiger, maar de dreiging blijft. Ook in 2009 en 2010 werden er regelmatig aspluimen gesignaleerd en waren er kleine aardbevingen te voelen.



Figuur 1.41 Uitbarsting van de Chaitén in 2008.



Figuur 1.42 De nieuwe lavaprop in de caldeira Chaitén.

Bovendien groeit er in de grote kratermond een dikke, nieuwe lavaprop van tientallen meters hoog (figuur 1.42).

● Chaitén is slechts een van de vele vulkanen in Chili. Gelukkig zijn ze niet allemaal even gevaarlijk. Maar in de vorige eeuw hebben zich ten minste vijfentwintig vulkaanuitbarstingen voorgedaan; en tussen 2000 en 2010 waren er acht vulkanen actief. In figuur 1.40 zie je waar een paar van de meest dreigende vulkanen liggen.

Aardbevingen

▶ Het hypocentrum van de zware aardbeving van februari 2010 die een tsunami veroorzaakte (inleiding paragraaf 1.6), lag uit de kust onder zee (figuur 1.40). De Zuid- Amerikaanse plaat is daarbij verplaatst. Zo is de stad Concepción bijna 3 m naar het westen verschoven en de hoofdstad Santiago zo'n 28 cm. Zelfs Buenos Aires, aan de oostkant van het continent, ligt nu 2,5 cm westelijker.

● Behalve de schade door de tsunami waren de gevolgen op het land zelf ook groot. Er vielen vijfhonderd doden. Het internationale vliegveld van Santiago, ruim 300 km noordelijk van het epicentrum, ging dicht en door de uitval van elektriciteit in bijna het hele land was de eerste uren na de beving nauwelijks contact mogelijk. Omdat veel wegen zwaar beschadigd waren en bruggen waren ingestort, was het voor de reddingsteams moeilijk om het rampgebied te bereiken. In grote steden als Concepción en Temuco en in vele kleinere dorpen stortten bij elkaar zo'n 370.000 gebouwen in en ontstonden branden.

● Chili heeft de laatste vijftig jaar zeven zware aardbevingen gekend met een kracht groter dan 7.2. Het epicentrum van de zwaarste aardbeving ooit geregistreerd in de wereld-

geschiedenis, in mei 1960, lag in Valdivia (figuur 1.40). De kracht was 9.5 op de schaal van Richter. Ook toen volgde een tsunami en vielen er 1.600 doden.

De Andes

▶ De ligging van gebergten en het type gebergte kan, zoals je al in paragraaf 1.4 hebt gelezen, verklaard worden door de platentektoniek. Zo vind je mid-oceanische ruggen bij divergente breukzones. De Andes ligt bij een subductiezone bij een convergente breukzone. Behalve vulkanen komt daar ook een ander type gebergte voor.
Wanneer het magma bij de subductiezone opstijgt, wordt ook de continentale korst omhoog gedrukt.
Door de druk worden gesteentelagen die oorspronkelijk horizontaal op elkaar lagen, scheefgesteld en soms zeer sterk geplooid (figuur 1.43). Je noemt zo'n gebergte een plooiingsgebergte. Het gebergte bestaat dus uit een complex van stollingsgesteente uit de diepte, metamorf gesteente, dat is ontstaan door de druk van de gebergtevorming, en uit



Figuur 1.43 Plooien in de gesteentelagen in de Andes in Chili.

> plooiingsgebergte



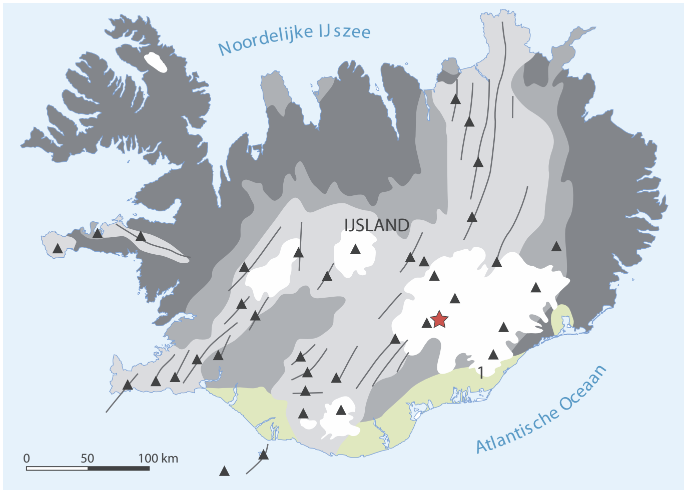
Figuur 1.44 Torres del Paine in Chili.

sedimentgesteente (figuur 1.29). Zo ontstaat een dikke korst. De continentale korst bij de Andes is op sommige plekken wel 70 km dik. Het zal duidelijk zijn dat zo'n plooiingsgebergte niet alleen bij subductie ontstaat, maar ook wanneer twee continentale platen tegen elkaar botsen.

● In de Andes vind je op verschillen plekken grote granieten rotsmassa's. In figuur 1.44 zie je een voorbeeld van deze torens: de Torres del Paine, in het gelijknamige nationale park. Loodrechte wanden van licht graniet steken zo'n 2.000 m boven het omringende gebergte uit. Ze zijn zelfs te steil om bedekt te worden met sneeuw en ijs.

Hotspot bij IJsland

▶ Een ander gebied dat veel te maken heeft met de gevolgen van endogene krachten is IJsland. In paragraaf 1.4 heb je gelezen dat IJsland op een divergente breukzone ligt. Je zou misschien verwachten dat daar dan alleen schildvulkanen te vinden zijn. Maar dat is niet het geval. IJsland kent een grote variatie aan vulkanen. Met een aantal daarvan heb je al kennisgemaakt. Zo laat figuur 1.32 de Skjaldbreidur zien, een schildvulkaan. De



Figuur 1.45 Geologische kaart van IJsland.

openingsfoto van dit hoofdstuk toont de Eyjafjallajökull, een stratovulkaan. En in figuur 1.36 is Lakagigar, een gebied met spleeterupties, te zien. Op de kaart van figuur 1.37 blijkt ook nog eens dat op IJsland een hotspot ligt. Kortom: veel verschillende vormen van vulkanisme in één gebied.

● De belangrijkste oorzaak daarvan is het voorkomen van een hotspot onder IJsland. Toen Pangea uiteenviel, lag hier in de diepte een mantelpluim. Het vloeibare magma brak met vele spleeterupties door de lithosfeer heen en vormde een divergente breuk. Zo ontstond het begin van de Atlantische Oceaan in het noorden, met het eiland IJsland, opgebouwd uit vele lagen basalt. Nu kun je het restant van de mantelpluim, de hotspot (figuur 1.45) op IJsland nog steeds zien. Door de enorme hoeveelheden magma ontstonden verschillende typen vulkanen (figuur 1.46).

Breuken en slenken

▶ Daar waar twee continentale platen uit elkaar drijven, zoals op IJsland, ontstaan divergente breukzones. Daar kunnen breukgebergten ontstaan. Een deel van het gebied langs de breuk komt omhoog of zakt juist weg. Dit heten horsten en slenken. In figuur 1.24 zie je een slenk bij de breukzone bij Thingvellir. En op de openingsfoto van paragraaf 1.3 heb je gezien dat zo'n slenk zich deels kan opvullen met water.

> breukgebergten
> horsten en slenken

Samenstelling van magma

Magma dat diep uit de aardmantel opstijgt en minder druk ondervindt, gaat dicht bij de aardkorst smelten en wordt zeer vloeibaar. Dit is basalt. De viscositeit, de stroperigheid, is laag. De vulkaanuitbarstingen zijn niet zo heftig, maar komen wel regelmatig voor. Je vindt dit soort vulkaanuitbarstingen bij divergente breukzones.

Magmakamer

Soms komt bij een hotspot zoveel magma via de mantelpluimstaart omhoog dat het zich bij het oppervlak opstapelt. De korst wordt daar dan steeds dikker, waardoor het magma het aardoppervlak steeds moeilijker kan bereiken. Het magma verzamelt zich in een zogenaamde magmakamer, waarin het langzaam afkoelt. Bepaalde mineralen stollen en vormen kristallen die naar beneden zakken. De eerste mineralen die stollen, bevatten weinig siliciumoxide (SiO_2). De rest van het magma wordt steeds rijker aan SiO_2. De chemische eigenschappen van het magma veranderen dus. Magma met weinig SiO_2 is basalt en magma met een hoog SiO_2-gehalte bestaat uit onder andere andesiet en graniet. De stollingsgesteenten die zo ontstaan, verschillen van elkaar.

Ontstaan van verschillende vulkaantypen

Dit is terug te vinden in de gesteenten op IJsland. In het begin, ongeveer vier miljoen jaar geleden, vormden zich alleen gesteentelagen van basalt. De korst was nog niet zo heel dik en het magma kon makkelijk uitvloeien. In de loop der tijd is de korst dikker geworden. Tegenwoordig bevindt zich onder een aantal grote actieve vulkanen een magmakamer van gemengde samenstelling. Bovenin zit het andesietmagma, onderin het basaltmagma. Bij de eerstkomende uitbarstingen kan dan eerst het explosieve magma vrijkomen en zal pas later het effusieve basaltmagma uitstromen. Zo ontstaan er dus verschillende typen vulkanen op IJsland.

Figuur 1.46 Magma van verschillende samenstelling.

Begrippen hoofdstuk 1

Aardbeving 19
Schokkende of trillende beweging van een gedeelte van de aardkorst door de werking van onderaardse krachten.

Aardkern 8
Het binnenste gedeelte van de aarde, deels vast, deels vloeibaar.

Aardkorst 8
Dunne, vaste schil van de aarde met een dikte van 5 km onder de oceanen tot 50 km onder de continenten.

Aardmantel 8
Dikke, plastische laag onder de aardkost waarin de convectiestromen voorkomen.

Actualiteitsprincipe 6
Natuurwetten in het verleden zijn hetzelfde als die in het heden.

Asthenosfeer 9
Zachtere, vrij plastische laag in de aardmantel.

Basaltstromen 28
Uitgestrekte basaltplateaus, opgebouwd uit honderden lagen basalt uit spleeterupties.

Black smoker 29
Schoorsteentjes van mineralen bij breukzones in de oceaan die heet water uitstoten.

Breukgebergte 33
Gebergte dat ontstaat in een gebied met een sterke breukactiviteit.

Caldeira 25
Zeer grote vulkaankrater, ontstaan door het instorten van het dak van een leeggelopen magmakamer.

Convectiestromen 18
Stromingen van plastisch gesteente in de aardmantel.

Convergente breuklijn 21
Lijn waar de platen naar elkaar toe bewegen.

Divergente breuklijn 21
Lijn waar de platen uit elkaar bewegen.

Effusieve uitbarsting 26
Rustige vulkaanuitbarstingen van vloeibaar lava.

Epicentrum 19
Punt aan de oppervlakte, direct boven de aardbevingshaard.

Explosieve uitbarsting 26
Zeer krachtige vulkaanuitbarsting van taai lava, vulkaanbommen en as.

Geologische tijdschaal 16
Indeling van de geschiedenis van de aarde in geologische tijdperken.

Gesteente 10
Mengsel van vaste mineralen en/of organische stoffen waaruit de aarde is opgebouwd.

Gesteentecyclus 14
Kringloop van de opbouw en de afbraak van gesteente op aarde.

Horsten en slenken 33
De hoger en lager gelegen gebieden tussen breuken in een breukgebergte.

Hotspot 28
Restant van een mantelpluim, waarbij op de aardkorst een vulkaan wordt gevormd.

Hypocentrum 19
Aardbevingshaard.

Lithosfeer 8
Harde, vaste buitenlaag van de aarde (aardkorst en deel van aardmantel).

Magnitude 19
Maat voor de energie die bij een aardbeving vrijkomt.

Mantelpluim 27
Grote hoeveelheid magma die vanuit de diepe aardmantel opstijgt en door de korst kan breken.

Metamorf gesteente 12
Gesteente dat van samenstelling is veranderd nadat het langere tijd onder hoge druk en hoge temperatuur heeft gestaan.

Mineraal 10
Chemische verbinding die de bouwsteen van gesteente kan vormen.

Paleomagnetisme 17
Wetenschap die zich bezighoudt met wijzigingen in de richting van gemagnetiseerde mineralen in de loop van de aardgeschiedenis.

Platentektoniek 18
Processen waarbij platen ontstaan, bewegen en verdwijnen.

Plooiingsgebergte 32
Gebergte dat ontstaat door plooiing van de aardkorst.

Pyroclastische stromen 26
Gloeiende wolken van as en stof die bij een heftige vulkaanuitbarsting van de hellingen af rollen.

Ridge push 21
Wegduwen van nieuwe lithosfeer van de mid-oceanische rug door de zwaartekracht.

Schaal van Mercalli 21
Schaal die de intensiteit en de schade van een aardbeving meet.

Schild 24
Uitgestrekt, stabiel gebied op een continent met zeer oud gesteente.

Schildvulkaan 25
Lage, brede vulkaan met flauwe hellingen, bestaande uit lagen vloeibaar lava.

Sedimentgesteente 12
Afzettingsgesteente.

Slab pull 22
Het door de convectiestromen naar de diepte trekken van de oceanische lithosfeer bij de subductiezone.

Spleeteruptie 27
Lava die via scheuren van tientallen kilometers lengte aan de oppervlakte komt.

Stollingsgesteente 10
Gesteente dat ontstaat door afkoeling en stolling van vloeibaar aardmantelmateriaal.

Stratovulkaan 25
Vulkaan met steile hellingen, opgebouwd uit lagen lava en pyroclastisch materiaal.

Subductie 22
Gebied waar een plaat onder een andere plaat duikt.

Superpositie 15
Een bovenliggende laag gesteente is, bij ongestoorde lagen, jonger dan een onderliggende laag.

Transversale breuklijn 23
Lijn waar de platen langs elkaar bewegen.

Trog 22
Diepe koof in de oceaanbodem bij de subductiezone.

Tsunami 22
Hoog opstijgende golf bij de kust, die ontstaat door een aardbeving in de oceaan.





2 Afbraak en vorming van landschappen CE



V.S. Bryce Canyon

Een wonderlijk geheel van grillige torens van rood gesteente vormt de wand van een klif in het Nationaal Park Bryce Canyon in de V.S. Jaarlijks komen hier vele toeristen de kleurige, smalle rotsen – hoodoos genaamd – met vensters of kapjes erop bewonderen. Als het in dit vrij droge gebied regent, stroomt rode aarde langs de torens omlaag, en neemt het sediment mee naar de voet van de wand. Zal dit gebied er over een paar duizend jaar nog zijn? En hoe is dit ontstaan?

Dit vreemd gevormde landschap was de afgelopen eeuwen het leefgebied van de Paiute-indianen. Ze waren jagers en verzamelaars. Zij geloofden dat er in dit gebied ooit een stad lag die toebehoorde aan een mythische figuur: Coyote. De bewoners waren wezens die soms op vogels, soms op hagedissen en soms op nog andere dieren leken. Ze konden zich ook veranderen in mensen en waren kwaadaardig. Na een fikse ruzie werd Coyote zo kwaad dat hij al die wezens voor straf veranderde in smalle pilaren. Het is een mooie legende over de ontstaanswijze, die past bij zo'n apart landschap.



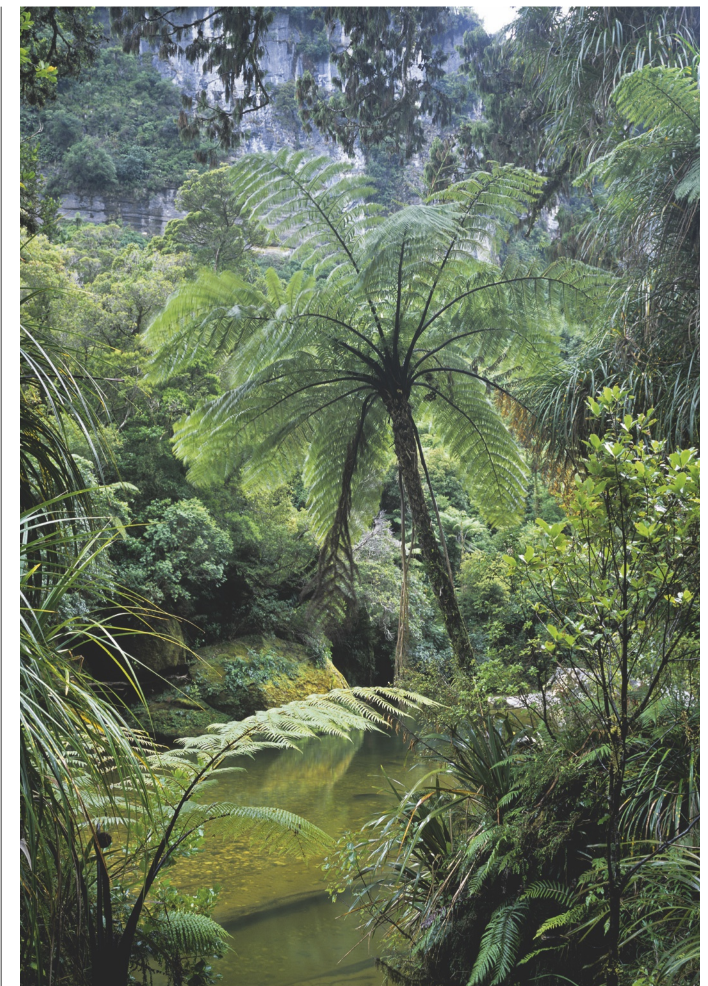
2.1 De aarde als systeem

24 uur licht

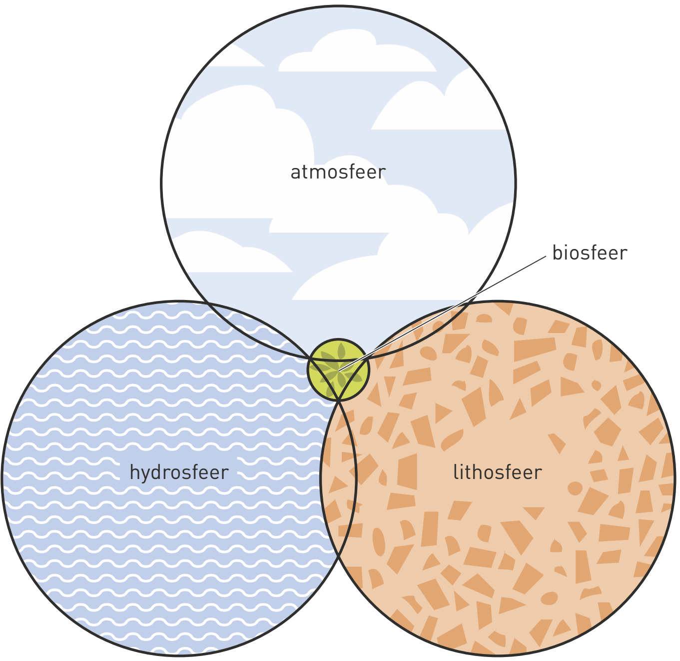
Het is middernacht. De zon staat laag boven de horizon. Dagen achter elkaar gaat ze niet onder, maar scheert ze in een flauwe boog boven de einder. Grote, witte, vlakke ijsschotsen worden begrensd door smalle stroken donker water. Het is koud, ondanks 24 uur daglicht. Het ijs smelt slechts een beetje door de geringe warmte van de zon. Er ontstaat (nog) geen open zeeverbinding.

Vier sferen

▶ Op de foto van figuur 2.1 zie je een deel van een tropisch oerwoud. Het is een uitbundig geheel van planten en dieren. Als je dit gebied bestudeert, zul je merken dat water en bodem ook van essentieel belang zijn. In de fysische geografie maken onderzoekers bij de bestudering van de aarde, gebruik van vier sferen: de atmosfeer, de hydrosfeer, de lithosfeer en de biosfeer (figuur 2.2). In een oerwoud is de atmosfeer vochtig en warm. Er ontstaan veel wolken en het regent veel. De hydrosfeer is hier alom tegenwoordig. En samen met de warmte leidt dit tot een uitbundige biosfeer: er leven duizenden soorten planten en dieren. De bodem, een onderdeel van de lithosfeer, vormt een delicaat evenwicht met de planten. Zo vormt een oerwoud een systeem waarin de verschillende sferen sterk met elkaar verbonden zijn. De lithosfeer is in hoofdstuk 1 al uitgebreid aan bod gekomen. In dit hoofdstuk lees je meer over de drie andere sferen.



Figuur 2.1 Tropisch oerwoud.



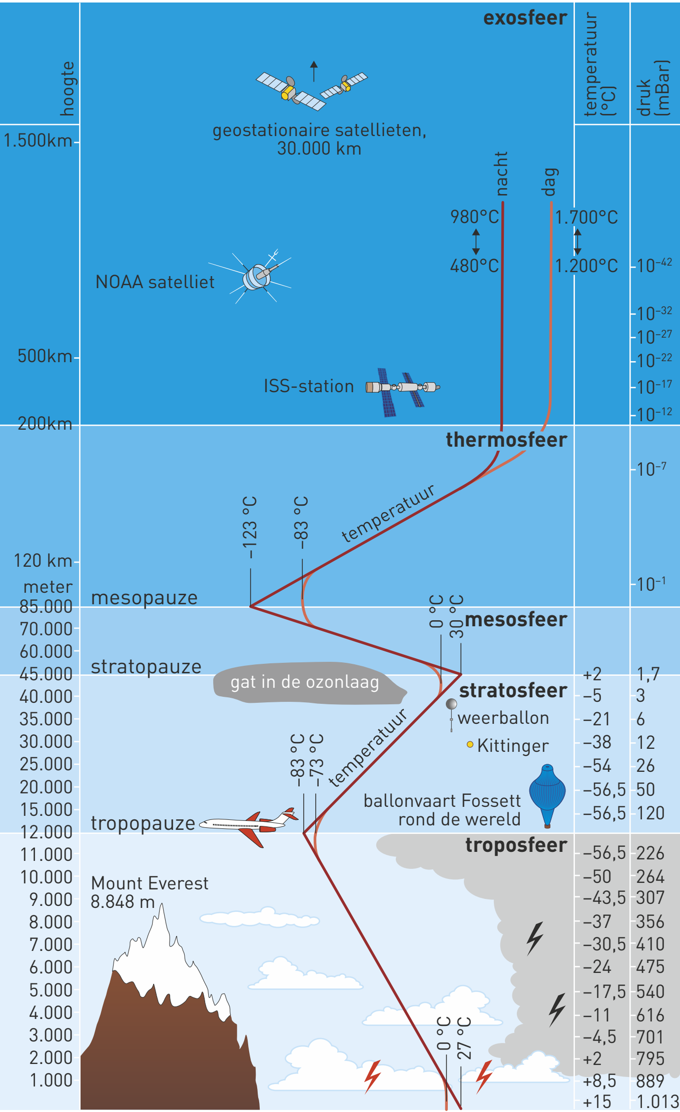
Figuur 2.2 De vier sferen.

Atmosfeer

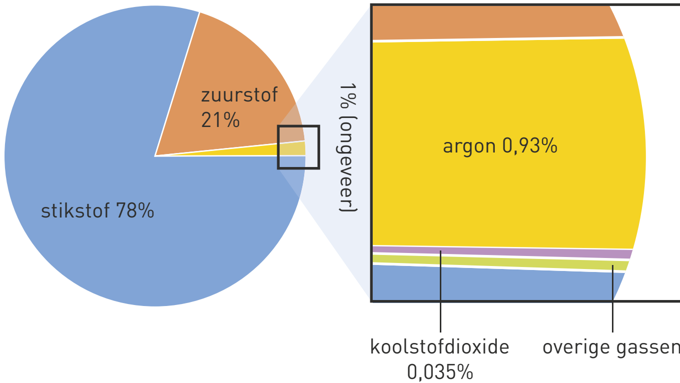
▶ De dampkring, de atmosfeer, is van groot belang voor het leven op aarde en speelt een belangrijke rol bij de vorming van de landschappen. De atmosfeer om de aarde werd gevormd door gassen uit het binnenste van de aarde die via vulkaanuitbarstingen ontsnapten. Later hebben de ontwikkeling van levensvormen de samenstelling meebepaald. Waar de dampkring precies overgaat in de interplanetaire ruimte, is moeilijk vast te stellen, omdat de lucht naar boven toe steeds ijler wordt. Vaak houdt men een dikte aan van ongeveer 80 km. De atmosfeer is opgedeeld in vier opeenvolgende lagen: de troposfeer (tussen de 8 en 18 km dikte), de stratosfeer (tot 50 km hoogte), de mesosfeer en de thermosfeer (figuur 2.3).

● Voor het leven op aarde is de troposfeer van essentieel belang. Daarin spelen zich de belangrijke kringlopen van water en koolstof en de klimaatprocessen af. De troposfeer bevat 80% van de gassen die de dampkring vormen. In figuur 2.4 zie je wat de samenstelling van de troposfeer is. Stikstof en zuurstof zijn verantwoordelijk voor 99% van het volume. Argon, CO_2, methaangas (CH_4), ozon (O_3) en waterdamp (H_2O) vormen het laatste procent.

> atmosfeer
> troposfeer



Figuur 2.3 Opbouw van de dampkring.



Figuur 2.4 De gassen in de troposfeer.

● De stratosfeer, die zich boven de troposfeer uitstrekt, heeft voor het leven op aarde ook een belangrijke functie. Deze stabiele laag bevat ozon (O_3) dat de instraling van ultraviolette straling blokkeert. Hierdoor worden de levensvormen beschermd tegen de schadelijke invloed van ultraviolet licht, dat huidkanker en genetische mutaties kan veroorzaken.

Hydrosfeer

▶ Een astronaut ziet de aarde vanuit zijn ruimteschip als een prachtige, blauwe bol met hier en daar wat bruin. De blauwe kleur verraadt een overvloed aan water aan de oppervlakte op deze planeet. Het water absorbeert de rode kleur van het lichtspectrum en reflecteert de blauwe kleur. Maar je vindt water niet alleen in de oceanen. De hydrosfeer is het vloeibare gedeelte van de aardse sferen. Het omvat de oceanen, meren, rivieren en het grondwater en bodemwater. Ook de gletsjers en het vaste ijs in de bergen en op de polen behoren tot de hydrosfeer. Van het water zit 97% in de oceanen en is dus zout, ruim 2% is in de ijskappen opgeslagen en slechts een kleine 1% omvat het water in de rivieren, de meren, het grondwater, het bodemwater, de atmosfeer en de planten.

Biosfeer

▶ De biosfeer omvat alle levende organismen op aarde. De meeste levende organismen bevinden zich op het land en in de bovenste 100 m van de oceanen. Maar er zijn uitzonderingen, zoals je gelezen hebt bij de beschrijving van de black smokers in hoofdstuk 1.

Kringlopen

▶ Kringlopen spelen een belangrijke rol bij het begrijpen van de exogene en endogene krachten die de aarde vormgeven. Bij die kringlopen zie je de relaties tussen de elementen van verschillende sferen. We hebben in hoofdstuk 1 al een kringloop besproken: de gesteentekringloop bij de lithosfeer. Gesteenten worden bijvoorbeeld diep onder de aardkorst gevormd, kunnen door gebergtevorming en erosie hoog in de bergen aan de oppervlakte komen en eroderen weer. Vervolgens komen de kleine deeltjes van de verweerde lithosfeer via de rivieren weer in zee terecht. De kringloop van gesteenten vindt dus niet alleen binnen de lithosfeer plaats. De elementen van de atmosfeer en de hydrosfeer zorgen samen voor afbraak en verplaatsing en maken de kringloop rond.

Hierna lees je over twee andere kringlopen: de waterkringloop en de koolstofkringloop die op elkaar ingrijpen.

> hydrosfeer
> biosfeer

Waterkringloop

▶ In het zonnestelsel komt alleen op onze planeet water in drie vormen voor: vast, vloeibaar en gasvormig. Water is van groot belang voor onze levens. Onze lichamen bestaan voor een flink deel uit water, wij drinken water, we ademen watermoleculen, onze voedselproductie is totaal afhankelijk van water, we gebruiken water voor de productie in de industrie en om ons te ontspannen. Daarnaast bepaalt water voor een groot deel het klimaatsysteem en is water een belangrijk element bij de exogene krachten die de landschappen vormgeven.

In figuur 2.5 is de waterkringloop op aarde in beeld gebracht. In de kringloop is te zien dat water verdampt uit zeeën, meren en rivieren. Dit noem je evaporatie. Ook planten verdampen via de huidmondjes water. Dat proces heet transpiratie. Via de neerslag, de infiltratie in de bodem en de afstroming over het aardoppervlak komt het water weer terug in zee.

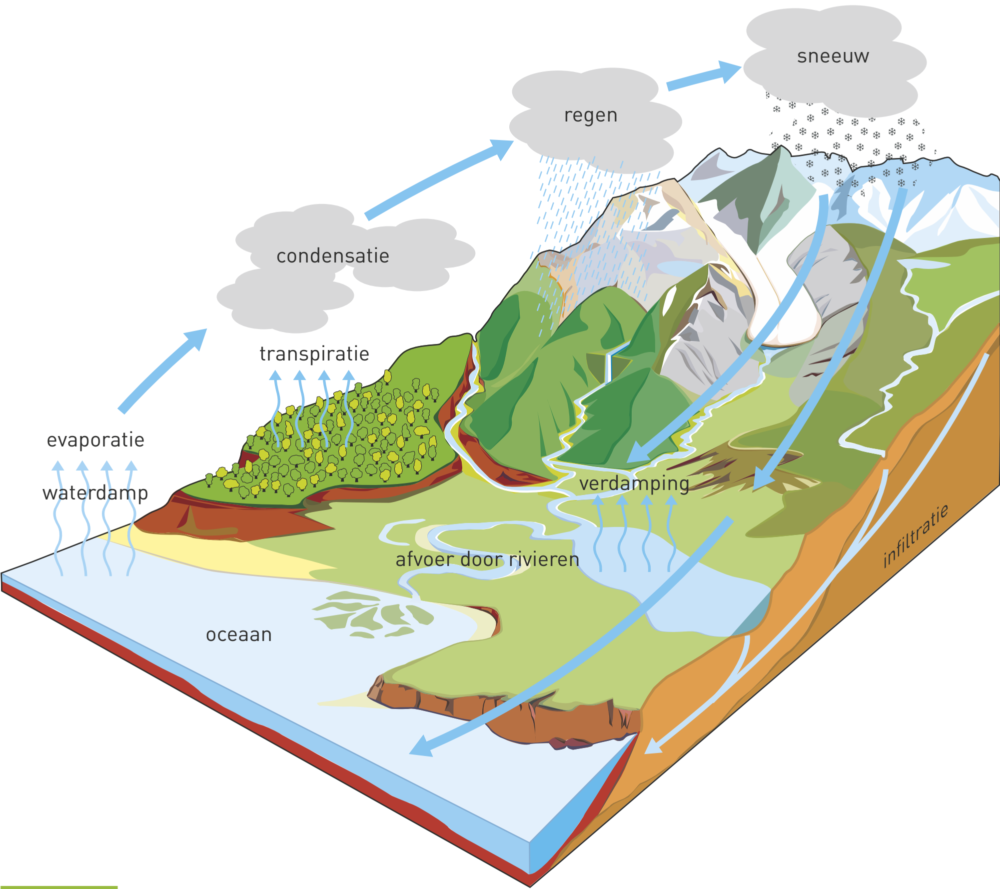
Koolstofkringloop

▶ De koolstofkringloop is om twee redenen van groot belang. Allereerst bestaan alle levensvormen uit koolstofcomponenten. Daarnaast wordt de koolstofcyclus op dit moment sterk door de mens beïnvloed, hetgeen gevolgen kan hebben voor het systeem aarde. Koolstof kan, net als water, in drie vormen voorkomen: als gas, in vaste vorm en in vloeibare vorm. De koolstofkringloop zie je in figuur 2.6. De hoeveelheid CO_2 in de atmosfeer is minder dan 2% van de hoeveelheid koolstof op aarde, maar van groot belang voor de kringloop en het leven op aarde. Hierin vinden voortdurend veranderingen plaats (figuur 2.6).

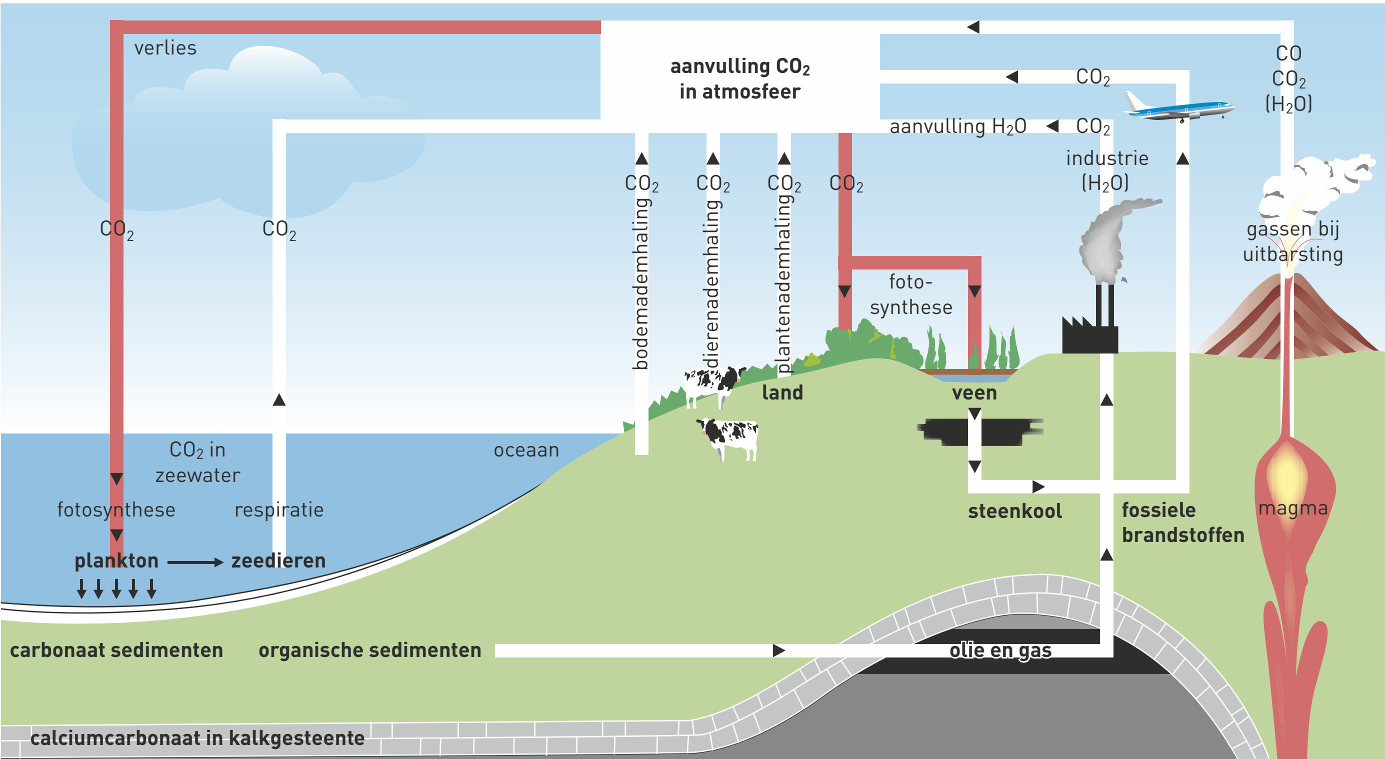
● Vulkanen, industrieën, chemische verwering en de ademhaling van planten en dieren zorgen voor de aanvulling van koolstof in de atmosfeer. Met die ademhaling, de transpiratie, zetten planten en dieren de koolstof uit de levensvormen met zuurstof om in CO_2 en water.

● Fotosynthese is het omgekeerde proces van de ademhaling. Planten groeien wanneer er voldoende licht en voedingsstoffen

> waterkringloop
> koolstofkringloop

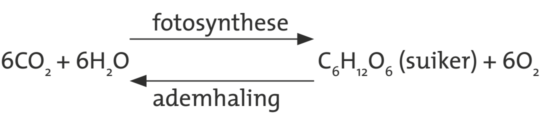


Figuur 2.5 Waterkringloop.



Figuur 2.6 Koolstofkringloop.

aanwezig zijn. Is aan deze voorwaarden voldaan, dan wordt CO_2 aan de lucht en water aan de grond onttrokken en met behulp van energie omgezet in organisch materiaal (vaste koolstofverbindingen) en zuurstof. De zuurstof komt weer in de atmosfeer terecht. In een formule ziet dat er zo uit.



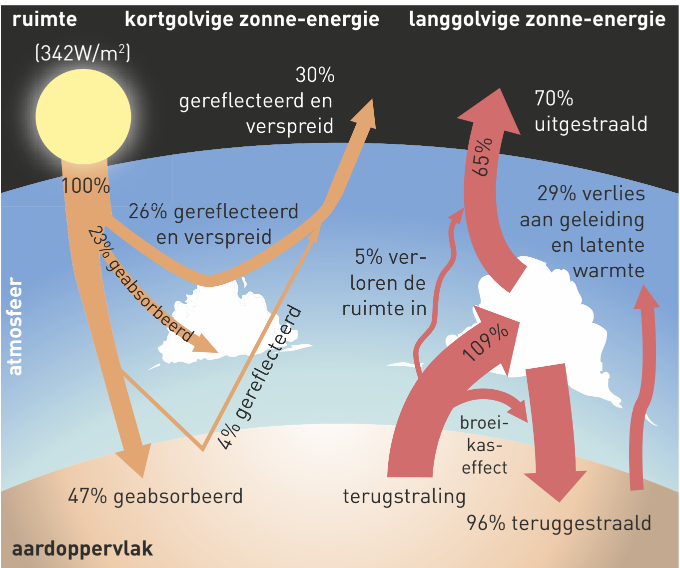
Bij de fotosynthese in de oceanen wordt CO_2 uit de atmosfeer gehaald en door plankton opgenomen. De zuurstof die daarbij ontstaat, komt in het water terecht. Het plankton bouwt skeletjes van calciumcarbonaat ($CaCO_3$). Bij het afsterven van het plankton worden de skeletjes als sedimenten op de bodem van de oceaan afgezet. Zo ontstaan uiteindelijk kalksteenlagen ($CaCO_3$), waarin de koolstof voor lange tijd is opgeslagen. Ook worden op de bodem van de oceaan organische deeltjes omgevormd tot olie en gas. Op het land kunnen in moerassen plantenresten in veen omgezet worden. Het veen kan vervolgens inkolen tot steenkool. Zo wordt koolstof voor lange tijd vastgezet.

● Je ziet in figuur 2.6 dat koolstof op meerdere plaatsen voor lange tijd opgeslagen kan worden. Dit worden sinks of putten genoemd. Aan de andere kant zijn er de 'bronnen' die de koolstof weer in de atmosfeer brengen. Uiteindelijk moet er over langere tijd een balans zijn. Er kan geen koolstof verdwijnen.

▶ De kringlopen bepalen voor een belangrijk deel de relaties tussen de vier sferen.
Waterdruppels die in de atmosfeer gevormd zijn, komen op aarde terecht in de hydrosfeer en worden opgenomen door planten (de biosfeer) en in de bodem (de lithosfeer) of slijten het gesteente (de lithosfeer) uit. Die deeltjes worden door de rivier (de hydrosfeer) weer naar zee gebracht. De waterkringloop speelt dus een belangrijke rol bij de vorming van landschappen.

Energiebalans

▶ De grote motor van de kringlopen en de processen in de sferen is de energie van de zon. De aarde ontvangt via de zon energie. Een deel van die energie wordt omgezet in warmte en een deel wordt weer teruggebracht in de atmosfeer en uitgestraald. De gemiddelde temperatuur op aarde is ongeveer 15 °C. Aangezien de aarde gedurende langere tijd een vrij constante temperatuur heeft, moet er een balans zijn tussen de inkomende en uitgaande energie. Deze energiebalans zie je in figuur 2.7.



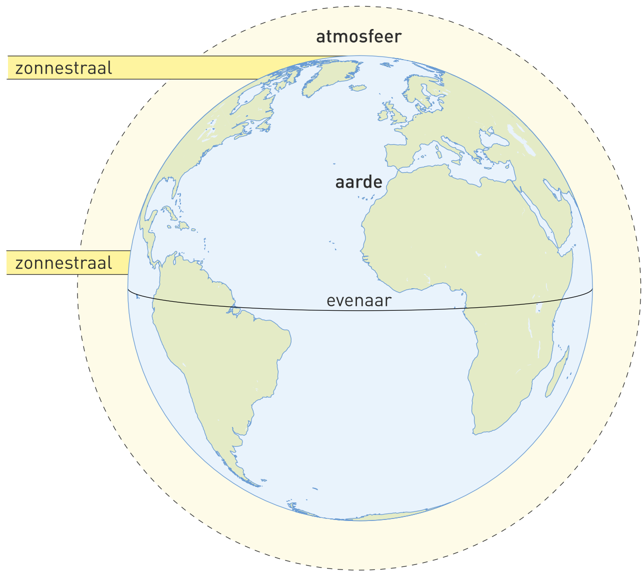
Figuur 2.7 De energiebalans van de aarde.

● Je ziet dat een deel van het zonlicht weerkaatst wordt door wolken en het aardoppervlak. Een ander deel van de energie wordt door de wolken opgenomen en omgezet in warmte. Minder dan de helft komt bij het aardoppervlak terecht. Daar wordt de energie opgenomen en omgezet in warmte, geabsorbeerd, en uitgestraald via infrarode straling. De atmosfeer wordt zo verwarmd vanuit het aardoppervlak. Opvallend is dat 114% (109% en 5%) vanaf het aardoppervlak wordt teruggestraald, terwijl er maar 47% van het zonlicht door het aardoppervlak wordt geabsorbeerd. Dat komt door de broeikasgassen, waterdamp, CO_2 en methaan. Een flink deel van de warmte verlaat de atmosfeer niet, maar wordt weer door de broeikasgassen en wolken geabsorbeerd en voor een groot deel teruggestraald (zie pijl met 96%) naar de aarde. Waren er geen broeikasgassen, dan zou de gemiddelde temperatuur veel lager zijn, namelijk –16 °C. Deze extra warmte maakt het aardoppervlak gemiddeld 31 °C warmer en daardoor is het hier gemiddeld dus 15 °C.

Stralingsbalans op verschillende plekken op aarde

▶ Op langere termijn blijft de energiebalans vrij constant. Op kortere termijn en lokaal zijn er wel grote verschillen te

> energiebalans



Figuur 2.8 De inval van de zonnestralen op de aarde.

ontdekken. Dat is goed te illustreren aan de hand van de poolstreek en het oerwoud (foto inleiding paragraaf en figuur 2.1).

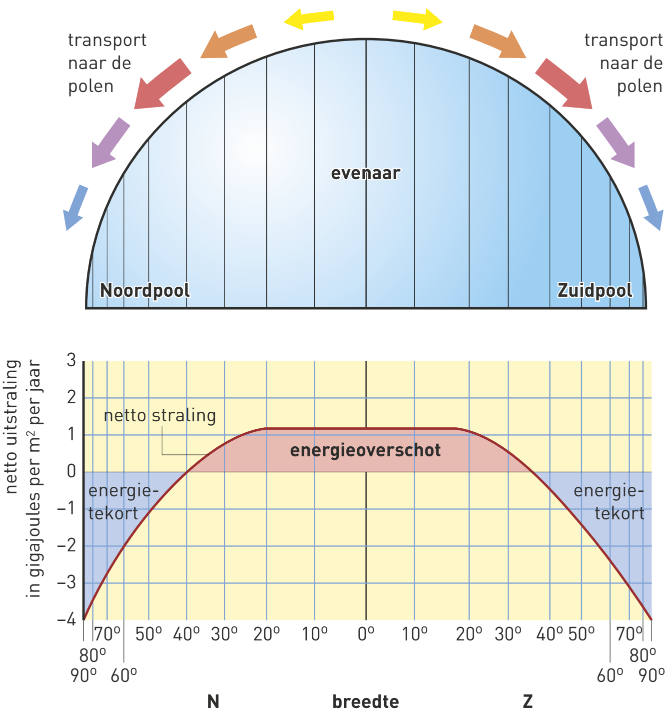
- Bekijk je de energiebalans voor 24 uur, dan zijn er natuurlijk verschillen tussen de hoeveelheid netto-energie overdag en 's nachts. En gedurende de seizoenen zal de energiebalans ook veranderen.
- De energiebalans verschilt ook per breedtegraad. In het oerwoud bij de evenaar is het warm, ook al schijnt de zon maar zo'n 12 uur per dag. Ten noorden van de poolcirkel is het veel kouder, ook al staat de zon daar 24 uur per dag aan de hemel. Dit komt door de invalshoek van de zonnestralen. De zon staat in de poolstreken veel lager aan de horizon, zodat de zonnestraling over een veel groter gebied verdeeld moet worden dan in de tropen (figuur 2.8). Verder legt een zonnestraal in de poolstreken een veel langere weg door de atmosfeer af dan in de tropen. Hierdoor is er meer warmteverlies aan bewolking en stofdeeltjes. De poolstreken krijgen daardoor veel minder zonne-energie per vierkante meter dan de tropische gebieden.
- Op de foto bij de inleiding zie je veel ijs. IJs, wit van kleur, reflecteert, weerkaatst het zonlicht. Donkere oppervlakten als de bossen in de tropen absorberen het licht en reflecteren dat nauwelijks. Daarom wordt het daar warmer. De mate van weerkaatsing of reflectie wordt de albedo genoemd. In figuur 2.9 zie je dat de albedo afhankelijk is van de aard (en de kleur) van het aardoppervlak.

> albedo

Oppervlak	Albedo (in %)
verse sneeuw of ijs	60 - 90
oude, smeltende sneeuw	40 - 70
wolken	40 - 90
woestijnzand	30 - 50
bodem	5 - 30
toendra	15 - 35
graslanden	18 - 25
bos	5 - 20
water	5 - 10

Figuur 2.9 De albedo bij verschillende typen aardoppervlak.

▶ De energiebalans levert dus gedurende het jaar een tekort op op hogere breedte, terwijl er bij de tropen een overschot te zien is (figuur 2.10). Het overschot bij de tropen leidt tot een transport van warmte naar de polen toe en andersom. De extreme plaatselijke verschillen in de energiebalans op aarde worden hierdoor verminderd dan wel gecompenseerd. Dit is de motor van de oceaanstromen en de luchtcirculatie die in paragraaf 2.2 aan bod komen.



Figuur 2.10 Transport van warmte en netto-instraling over het jaar per breedte.

2.2 Klimaten

Desastreuze moesson in Pakistan

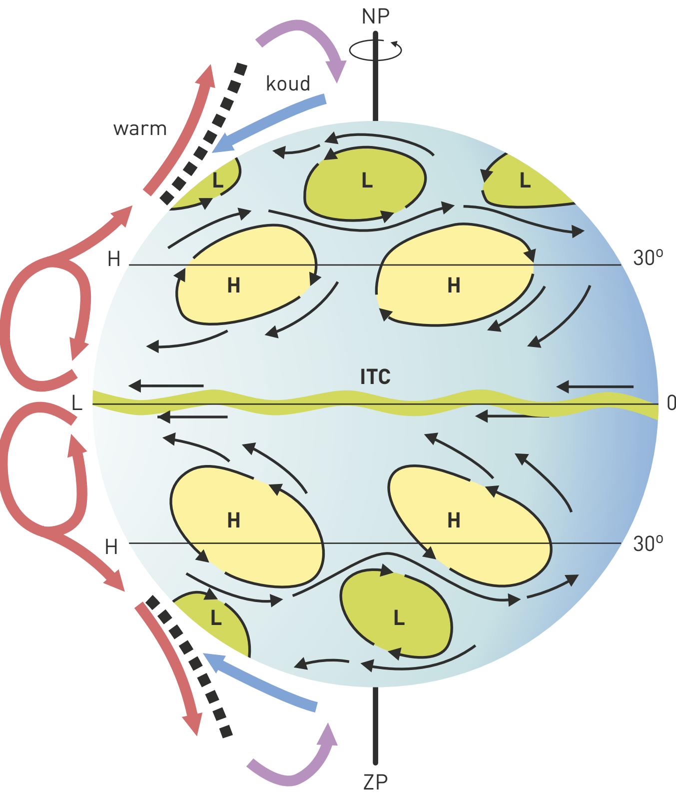
In augustus 2010 werd ongeveer een vijfde deel van Pakistan overspoeld door water uit rivieren die ver buiten hun oevers traden. De heftige regens van de moessons konden niet meer afgevoerd worden. 1.600 mensen kwamen om en ruim 3 miljoen mensen ondervonden de gevolgen, zoals vernielde huizen en land, hogere voedselprijzen, een falende overheid en dreigende epidemieën.
Elk jaar heeft Pakistan te maken met moessons. Ze horen bij het klimaat in dat gebied. Waarom hadden ze dit jaar dan zulke desastreuze gevolgen?

▶ In de vorige paragraaf heb je gezien dat de breedteligging, de albedo en de seizoenen verschillen opleveren in de energiebalans op aarde. Bij een ongelijke energiebalansverdeling op aarde komt er een luchtcirculatie én een watercirculatie op gang die zorgen voor de herverdeling van zonne-energie.

Luchtcirculatie

▶ Door opwarming in de tropen zet de lucht daar uit (warme lucht heeft een groter volume dan koude lucht en wordt daardoor lichter). De lucht stijgt op. Hierdoor ontstaat aan het aardoppervlak, rond de evenaar, een tekort aan luchtdeeltjes, oftewel een lagedrukgebied. Dit lagedrukgebied bij de tropen wordt de intertropische convergentiezone (ITC) genoemd (figuur 2.11). Hoog in de troposfeer (op ongeveer 15 km hoogte) komt een stroming op gang die van de tropen af gericht is. Rond 30° N.B.

> lagedrukgebied



Figuur 2.11 Globale circulatiepatronen van de wind op aarde.

> intertropische convergentiezone (ITC)

en Z.B. (de subtropen) zakt de inmiddels koude lucht naar het aardoppervlak. Er ontstaan daar hogedrukgebieden. De opgestegen lucht aan de evenaar moet worden aangevuld: laag in de troposfeer komt een luchtstroming ofwel wind op gang vanuit de subtropen richting de tropen (figuur 2.11).

● Rond de polen heerst een situatie die omgekeerd is aan die in de tropen. De lucht is erg koud en zakt. Zo vormt zich hier een gebied met hoge luchtdruk in de zogenoemde polaire zone. Het teveel aan lucht verplaatst zich aan het aardoppervlak naar gebieden met een lage luchtdruk in de gematigde zone. De koude lucht uit de poolstreken die met deze winden wordt meegevoerd, botst op ongeveer 50° N.B. en Z.B. tegen de warme lucht uit de subtropen. De warme lucht schuift over de koude lucht heen. Door deze stijgende beweging van lucht ontstaan daar lagedrukgebieden. Het Nederlandse klimaat bijvoorbeeld, staat vaak onder invloed van deze lagedrukzone.
Door deze luchtstromen worden grote verschillen in energiebalans ten dele gecompenseerd.

De wet van Buys Ballot

▶ Door de rotatie van de aarde is de algemene luchtcirculatie complexer dan hierboven is beschreven. Weliswaar beweegt de lucht van gebieden met hoge luchtdruk naar gebieden met lage luchtdruk. Maar de lucht langs het aardoppervlak stroomt niet in een rechte lijn van een hoge- naar een lagedrukgebied. De Nederlandse meteoroloog Buys Ballot (1817-1890) stelde al vast dat de stroming op het noordelijk halfrond een afwijking naar rechts heeft en op het zuidelijk halfrond een afwijking naar links. Dit is het zogenoemde corioliseffect, dat dus optreedt doordat de aarde roteert. Zo ontstaat het windpatroon dat in figuur 2.11 te zien is.

Moessons en passaten

▶ Door de schuine stand van de aardas beweegt de zon zich schijnbaar tussen de keerkringen. De loodrechte instraling van de zon verplaatst zich tussen de twee keerkringen. De intertropische convergentiezone (ITC), de zone met het tropische minimum, ligt in juli noordelijker dan de evenaar. Zo ligt de ITC in de zomer boven Afrika en Zuid-Azië 20° ten noorden van de evenaar. De lagedrukgebieden zuigen vanuit het zuiden, waar de hogeluchtdrukgebieden liggen, vanaf de zee lucht aan. Met

> hogedrukgebieden
> wind

de afwijking naar rechts (wet van Buys Ballot) brengen deze aanlandige zuidwestenwinden in de zomer veel neerslag (figuur 2.11). Ze worden moessons genoemd. In de winter ontstaat door de koude op het continent Azië een sterk hogedrukgebied. De ITC ligt ten zuiden van de evenaar. Op het noordelijk halfrond ontstaat een aflandige luchtstroom, een droge noordoostmoesson. Deze heeft een afwijking naar rechts met de wind in de rug, vanuit de hogedrukgebieden in Azië naar de ITC. Boven Azië is de verschuiving van de ITC het sterkst, omdat het land in de zomer zeer sterk verwarmd kan worden en in de winter zeer sterk kan afkoelen. Zo heeft Pakistan (foto en tekst inleiding) elk jaar te maken met een nat seizoen in de zomer en een droog seizoen in de winter. Maar ook de westkust van Afrika kent een afwisseling van droge aflandige winden en vochtige aanlandige winden.

● Op de oceanen ontstaan er niet zulke grote drukverschillen tussen de zomer en de winter. Daar waaien op het noordelijk halfrond het hele jaar door de noordoostenwinden van het hogedrukgebied naar de ITC. Dit zijn de noordoostpassaten. Op de zeeën van het zuidelijk halfrond waaien op die breedten de zuidoostpassaten.

Warmtetransport via de zeestromen

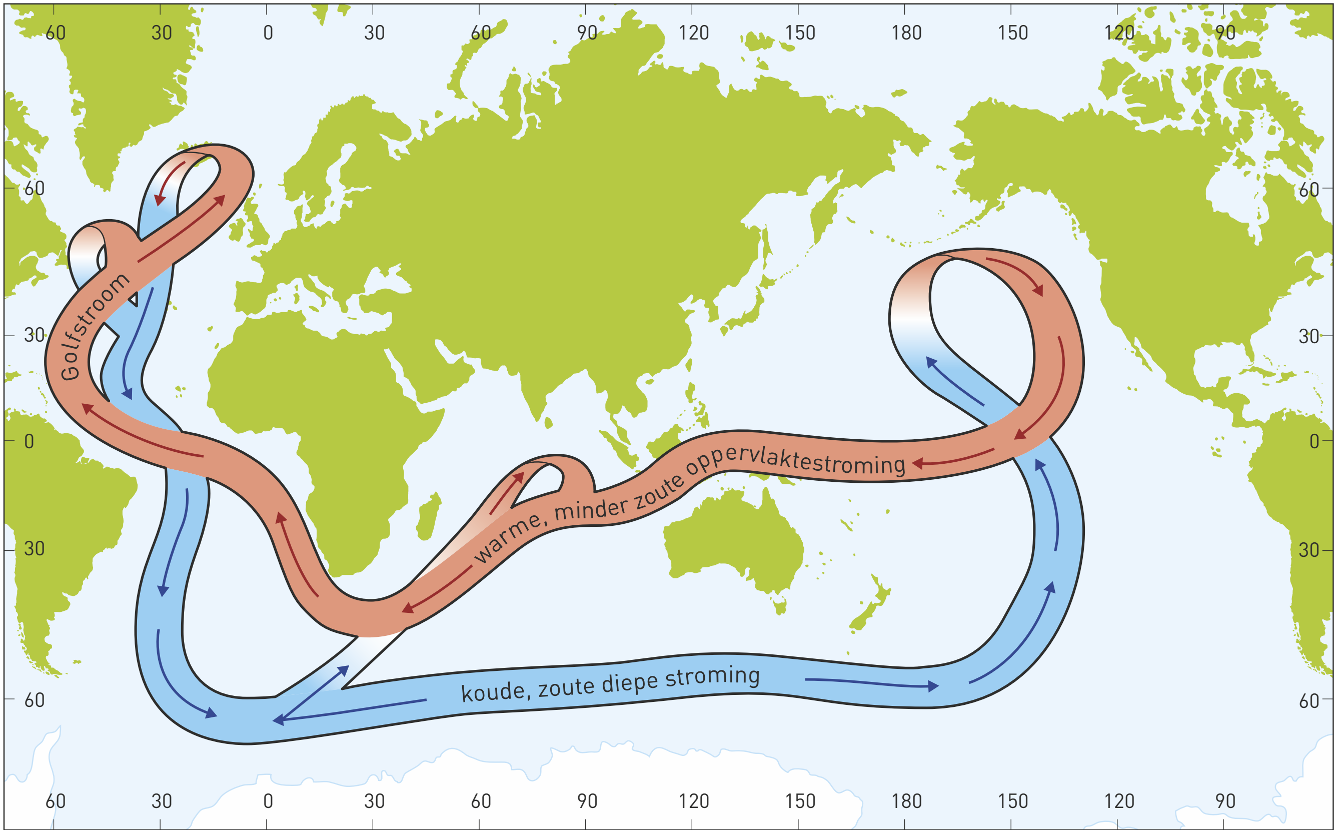
▶ Warmte en koude kunnen zich ook via de zeestromen verplaatsen. Het ontstaan van zeestromen wordt bepaald door een aantal factoren waarvan wind, zoutgehalte en temperatuur de belangrijkste zijn.

● De bovenste laag water van de oceanen wordt door de zon verwarmd. De wind kan het warme water tot hoogstens 100 m onder het oceaanoppervlak mengen met kouder water. Deze warmwateroppervlaktestromen verplaatsen zich door de wind. De circulatiepatronen van de wind zijn dus ook herkenbaar in de zeestromen. Komt een zeestroom uit een relatief warm gebied in een koeler gebied, dan wordt dit een warme zeestroom genoemd. En een koude zeestroom stroomt op het noordelijk halfrond vanuit het noorden naar het relatief warme zuiden.

Thermohaline zeestroom

▶ Daarnaast bestaat er nog een wereldomspannend circulatiepatroon van waterstromen: de thermohaline circulatie.

> moessons
> passaten
> thermohaline circulatie



Figuur 2.12 Thermohaline zeestroom.

Deze diepzeestroom ontstaat door verschillen in zoutgehalte en temperatuur. In het noordelijke deel van de Atlantische Oceaan (ten noorden van IJsland en bij Labrador) koelt het water af. Wanneer het oceaanwater door de koude bevriest, wordt het nog zouter. Hoe hoger het zoutgehalte van het water en hoe kouder het water, hoe hoger de dichtheid. Het zware water zinkt naar de oceaanbodem (figuur 2.12). De koude diepwaterstroom beweegt zich naar de evenaar en langs Zuid-Amerika naar Antarctica. Dan buigt de stroming naar het oosten en vindt een vermenging plaats met een stroming die rond Antarctica circuleert. Uiteindelijk komt het koude, diepe oceaanwater in de Grote Oceaan in troggen terecht. Deze reis duurt zo'n duizend jaar. Het koude water welt uit de diepte van de troggen op, wordt weer warmer en stroomt via Indonesië en Afrika naar de Golf van Mexico. Met de westenwinden wordt dit warme en zoute water naar het noorden vervoerd, de Golfstroom. Deze oppervlaktestroom wordt zelfs nog verder noordwaarts aangezogen tot bij Groenland, omdat in het koude noorden nog steeds water afzinkt. Zo houdt dit systeem zichzelf in stand. Dankzij deze thermohaline circulatie heeft het noordwesten van Europa een relatief mild klimaat (figuur 2.13).

● Wanneer er niet genoeg water afzinkt, zal het noordelijke deel van de Golfstroom tot stilstand komen. Het klimaat kan daardoor veranderen. In vroegere tijden heeft de pomp op bepaalde momenten gehaperd. Dit is een van de verklaringen voor de afwisselend koude en warme perioden (ijstijden en interglacialen) in het Pleistoceen.



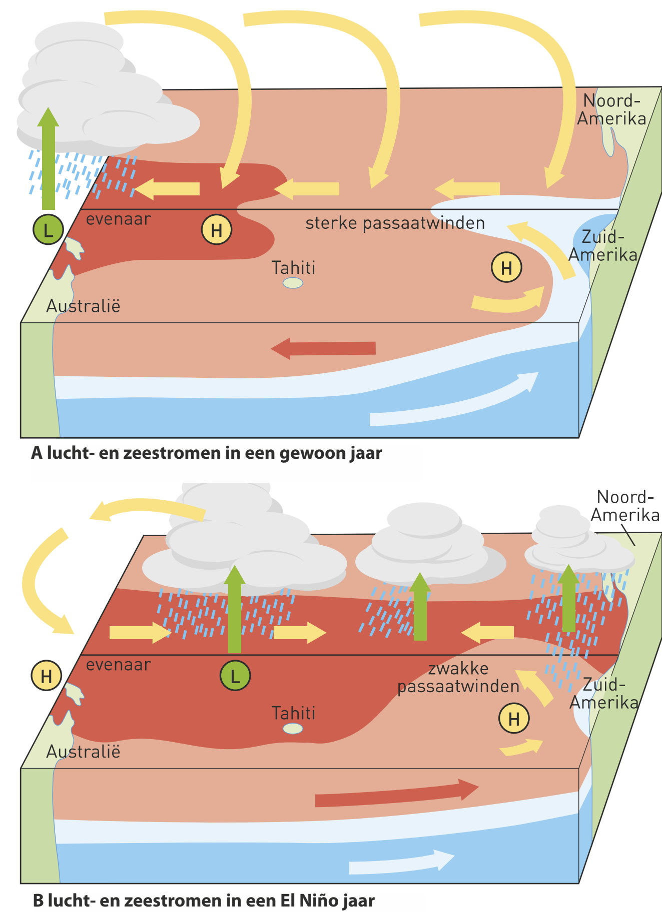
Figuur 2.13 Deze Noorse haven bevriest niet in de winter dankzij de warme Golfstroom.

Het Kerstkind

▶ Onder normale omstandigheden waaien op de Grote Oceaan in de buurt van de evenaar de noord- en zuidoostelijke winden:

de passaten. Deze aflandige winden blazen het oppervlaktewater bij de westkust van Zuid-Amerika weg (figuur 2.14A). Het wordt aangevuld door koel water dat opwelt uit de diepte van de oceaan. Het koude water staat niet zoveel waterdamp af aan de lucht. Bij een lage vochtigheid is de kans op neerslag ook gering. Het koude, opwellende water is over de oceaanbodem gestroomd en bevat daardoor allerlei voedingsstoffen, zoals afbraakproducten van dode organismen en mineralen. Algen en andere waterplanten gebruiken deze stoffen, en zij worden op hun beurt gegeten door een grote verscheidenheid aan vissen. De kustwateren van Chili, Peru en Ecuador zijn daardoor visrijk en de visserij – vooral die op ansjovis – is een belangrijk bestaansmiddel voor de kustbewoners. Het water dat door de passaatwinden is meegevoerd naar Indonesië en Australië, is bij de evenaar warm en veroorzaakt daar veel verdamping en neerslag.

- Elke twee tot zeven jaar wordt dit circulatiepatroon onderbroken. De hogedrukgebieden boven de oceaan bij Zuid-Amerika zijn dan niet zo sterk. De zuidoostpassaat is dan te zwak geworden om het water bij de Zuid-Amerikaanse kust weg te blazen. Koud water kan niet meer opwellen. Zo wordt juist warm oppervlaktewater aangevoerd (figuur 2.14B). De hoeveelheden plankton worden minder en de vissen verdwijnen. De vissers in dat gebied noemen het verschijnsel al decennialang El Niño, het Kerstkind, omdat de eerste tekenen van zo'n omslag in het normale patroon zich voordoen rond de kerst. Het warme water veroorzaakt ook veel regenval die voor overstromingen kan zorgen in Zuid-Amerika.



Figuur 2.14 Lucht- en zeestromen in een standaardsituatie (A) en tijdens een El Niño situatie (B).

Klimaatfactoren

▶ De stralingsbalans, de luchtcirculatie, luchtdrukgebieden en zeestromen bepalen voor een groot deel de temperatuur en de neerslag op aarde. Deze factoren vormen mede het klimaat. Het klimaat is de gemiddelde weerstoestand op een bepaalde plek op aarde gedurende dertig jaar jaar.

De volgende temperatuurfactoren bepalen het klimaat:

- De *invalshoek van de zonnestralen op aarde*.
  - De breedteligging bepaalt de invalshoek van de aarde (figuur 2.8).
  - De scheve stand van de aardas beïnvloedt de invalshoek van de zonnestralen gedurende de seizoenen. De zon schuift daardoor jaarlijks van een positie recht boven de Kreeftskeerkring (23,5° N.B.) op 21 juni, naar een positie recht boven de Steenbokskeerkring (23,5° Z.B.) op 21 december. Zo staat de zon bij ons in Nederland in de zomer hoger aan de hemel dan in de winter. In de poolstreken komt de zon midden in de winter het hele etmaal niet op en midden in de zomer gaat hij niet onder (midzomernachtzon). In de tropen zijn de verschillen tussen de seizoenen veel kleiner dan in de poolstreken.
- De *hoogteligging*.

Omdat de atmosfeer van onderop door de aarde wordt verwarmd, wordt het op toenemende hoogten kouder (gemiddeld 0,6° C per 100 m stijging).

- De *ligging aan zee of ver landinwaarts*.

De zee heeft een grotere warmtecapaciteit dan het land. Het water is voortdurend in beweging. Dit betekent dat de zee veel langzamer opwarmt en afkoelt dan het land. Als gevolg daarvan hebben aanlandige zeewinden in de zomer een afkoelende werking op het land en in de winter juist een verwarmende werking. Dat noem je de 'matigende werking' van zeewinden.

> El Niño
> klimaat



figuur 2.15 Droogte bij hogedrukgebieden in de woestijnen.

Ver landinwaarts zijn de temperatuurverschillen tussen de seizoenen op het land veel groter dan dicht bij zee.

- De *koude of warme zeestromen* (bij aanlandige wind).

Als er een warme of koude zeestroom langs een gebied stroomt, wordt de temperatuur op het land bij aanlandige wind beïnvloed door het transport van de bovenliggende lucht.

De volgende factoren beïnvloeden de neerslag in een gebied:

- De *luchtdrukgebieden*.
  - Door de hoge zonnestand in de tropen stijgt de opgewarmde lucht op. In deze lagedrukgebieden koelt de stijgende lucht af, de waterdamp condenseert, waardoor daar veel *stijgingsregens* vallen.
  - In hogedrukgebieden daalt de lucht, wordt relatief warmer en vormt geen neerslag (figuur 2.15).
  - In de lagedrukgebieden op de gematigde breedte botst de koude poollucht tegen de warme zuidelijke luchtstroom. De warme lucht stijgt en condenseert. Daarom vallen hier veel regens.
  - Bij wind tussen hoge- en lageluchtdrukgebieden voert aanlandige wind vochtige lucht mee en veroorzaakt regen. Bij aflandige wind blijft het droog.
- De *ligging aan zee of ver landinwaarts*.

De invloed van de vochtige, aanlandige zeewinden is vlak bij zee veel sterker dan op honderden kilometers landinwaarts.

- De *ligging van gebergten*.

Als aanvoer van lucht de bergen bereikt, moet de luchtmassa stijgen. De lucht koelt af, de waterdamp in de lucht condenseert en er valt *stuwingsneerslag*. Aan de andere zijde van de berg daalt de vochtige lucht, en wordt weer warmer. De waterdruppeltjes verdampen en er valt geen neerslag. Deze vrij droge gebieden liggen aan de lijzijde of in de regenschaduw van gebergten (figuur 2.16).



Figuur 2.16 Stuwingsregens aan de loefzijde van het gebergte; aan de lijzijde lossen de wolken op.

Elk klimaat zijn eigen plek

▶ Op grond van de voorgaande factoren kun je de wereld indelen in klimaatzones. In de atlas staat een verdeling die gebaseerd is op de opvattingen van de Duits-Oostenrijkse meteoroloog Köppen (1846-1940). In figuur 2.17 zie je deze indeling van klimaten volgens Köppen met hun kenmerken schematisch weergegeven.
In de tropische zone rond de evenaar heerst een tropisch regenklimaat (A). Dit klimaat wordt onderverdeeld in het tropisch regenwoudklimaat (Af) en het savanneklimaat (Aw).
In gebieden met weinig neerslag komen de droge klimaten (B) voor. Je kunt daarbij op grond van de daarmee samenhangende plantengroei een onderscheid maken tussen een steppeklimaat (BS) en een woestijnklimaat (BW). In de steppe groeien nog grassoorten in pollen en enkele struiken, maar in de woestijn groeit bijna niets meer.
De streken tussen de subtropische zone en het gebied boven de poolcirkels noemen we de gematigde zone. Er is voldoende neerslag voor plantengroei. In deze zone worden het zeeklimaat (C) en het landklimaat (D) onderscheiden. Het zeeklimaat komt voor in gebieden met koele zomers en milde winters in combinatie met relatief veel neerslag. Zeeklimaten worden onderverdeeld in het gematigde zeeklimaat (Cf), het Chinaklimaat (Cw) en het Middellandse Zeeklimaat (Cs). Het laatste klimaat heeft iets hogere temperaturen en een drogere zomer dan een gematigd zeeklimaat. Het landklimaat komt voor in gebieden met hete zomers en strenge winters in combinatie met relatief weinig neerslag (Dw en Df). Op hoge breedte en in het hooggebergte liggen de polaire klimaten (E). Deze worden onderscheiden in het toendraklimaat (ET), waar vrij weinig neerslag valt, het sneeuwklimaat (EF) en het hooggebergteklimaat (EH). Dit laatste klimaat kent vrij veel stuwingsneerslag. Op de toendra groeien nog struiken en planten, in het poolgebied niet. Bijna alle neerslag valt in de vorm van sneeuw. De sneeuw op de toendra smelt in de zomer, de sneeuw rond de polen niet. Daardoor krijgen planten op de toendra een kans.
De letters van de klimaten (A, C, D en E) worden dus bepaald door de temperatuur, de letter B door de hoeveelheid neerslag.

Klimaatzone Köppen	Nederlandse naam	Temperatuur	Neerslag
Tropische regenklimaten			
Af	tropisch regenwoudklimaat	winter >18 °C	hele jaar
Aw	savanneklimaat	winter >18 °C	drogere winter
Droge klimaten			
BS	steppeklimaat	–	200-500 mm/jaar
BW	woestijnklimaat	–	<200 mm/jaar
Maritieme klimaten (zeeklimaten)			
Cf	gematigd zeeklimaat of vochtig maritiem klimaat	zomer >10 °C; winter tussen -3 °C en 18 °C	hele jaar
Cs	Middellandse Zeeklimaat of mediterraan klimaat	zomer >10 °C; winter tussen -3 °C en 18 °C	drogere zomer
Cw	Chinaklimaat	zomer >10 °C; winter tussen -3 °C en 18 °C	drogere winter
Continentale klimaten (landklimaten)			
Df	landklimaat	zomer >10 °C; winter <-3 °C	hele jaar
Dw	landklimaat met droge winter	zomer >10 °C; winter <-3 °C	drogere winter
Polaire klimaten			
ET	toendraklimaat	zomer tussen 0 °C en 10 °C	weinig (vooral sneeuw)
EF	sneeuwklimaat	zomer <0 °C	weinig (vooral sneeuw)
EH	hooggebergteklimaat	groot dag- en nachtverschil	veel (vooral sneeuw)

Figuur 2.17 Klimaten en temperatuur- en neerslagkenmerken: f betekent dat er het hele jaar neerslag is, s geeft aan dat de zomer droog is en w wil zeggen dat de winter droog is.



2.3 Verwering en erosie

De kracht van wortels

Het eeuwenoude tempelcomplex Angkor Wat in Cambodja is voor een deel in bezit genomen door het oerwoud. De bomen zijn met hun enorme en grillige wortelstelsels diep in en tussen de stenen van de muren van de hindoeïstische tempel gedrongen. Het is een indrukwekkend gezicht. Maar de wortels worden dikker en dikker en wrikken op deze manier het gesteente los. Uiteindelijk zullen ze het verval van de tempel versnellen.

Verwering

▶ Een enorm rotsblok ligt in een kaal berggebied in Noorwegen (figuur 2.18). Het lijkt net alsof iemand het zojuist met een kettingzaag in stukken heeft gezaagd. Het breukvlak is haarscherp. Toch is hier geen machine of mens aan te pas gekomen. De natuur heeft zijn werk gedaan. Tijd en temperatuurverschillen hebben de enorme steen uiteindelijk in stukken doen breken. Dit heet verwering. Er zijn twee typen verwering.

▶ Bij fysische verwering valt het gesteente uiteen zonder dat de samenstelling verandert. Dit type verwering heet ook wel mechanische verwering en wordt door verschillende processen veroorzaakt.

> verwering
> fysische verwering

● Het eerste type verwering verloopt als volgt. In koude klimaten sijpelt water in kleine scheuren van gesteentemassa's. 's Nachts bevriest het water, zet uit en oefent in de vorm van ijs behoorlijke krachten uit op het gesteente. Overdag dooit het ijs. Dit proces herhaalt zich vele malen. Het water dringt via de scheuren steeds dieper het gesteente binnen. Uiteindelijk kan een gesteente compleet splijten, zoals is gebeurd bij het rotsblok op figuur 2.18. Dit type verwering heet vorstverwering en vind je veel in de bergen.
● Een tweede type fysische verwering vind je met name in droge gebieden, zoals woestijnen. Daar staan gesteenten bloot aan grote temperatuurverschillen. Overdag wordt het gesteente erg warm, terwijl het in de koude nachten behoorlijk afkoelt. Door deze temperatuurverschillen zet het gesteente uit en



Figuur 2.18 Vorstverwering in Noorwegen.



Figuur 2.19 Fysische verwering in een woestijn door temperatuurverschillen.

krimpt, waardoor er scheuren in ontstaan (figuur 2.19). Uiteindelijk zal de steen uiteenvallen in kleine stukken.

- Een derde vorm van fysische verwering wordt veroorzaakt door de kracht van groeiende plantenwortels. De foto bij de inleiding van deze paragraaf – over de werking van de boomwortels bij Angkor Wat in Cambodja – spreekt voor zich. Plantenwortels kunnen ook in kleine gesteentescheuren binnendringen, verder uitgroeien en het gesteente uiteindelijk vergruizen. Maar ook dicht bij huis vind je hier voorbeelden van, bijvoorbeeld boomwortels die stoeptegels omhoog drukken en doen splijten.

▶ Als de samenstelling van het gesteente tijdens het uiteenvallen verandert, noem je dit chemische verwering. Bij chemische verwering reageren de mineralen uit het gesteente met water en zuurstof. Sommige mineralen lossen op. Dit gebeurt vooral bij de combinatie van bepaalde typen gesteenten en zuur water. Met name kalksteen is gevoelig voor zuur water. Het water kan zuur worden door overvloedige plantengroei in warme klimaten. Bacteriën zijn daar in groten getale aanwezig. Ze produceren zuren die in de bodem terechtkomen en worden opgenomen in het bodemwater. Ook wordt het water zuur als gevolg van door de mens veroorzaakte processen. Denk daarbij aan de zure regen, veroorzaakt door de industrie. Het zure water lost kalksteen vrij makkelijk op. Zo kunnen in de diepe ondergrond grotten ontstaan.

Karstverschijnselen

▶ Grotten, zoals die bij Han in België, kenmerken zich door een prachtige ondergrondse wereld. Smalle spelonken, enorme, tientallen meters hoge grotten, pilaren van stalactieten en stalagmieten en onderaardse meren vormen een sprookjesachtige omgeving (figuur 2.20). Dit alles is gevormd door zuur water in kalksteen. Koolstofdioxide, van zure regen en vooral van planten en bacteriën in vochtige klimaten, komt in het bodemwater terecht en zakt naar het grondwater. De zone met het verzadigde zure water kan de kalksteen overal in het omringende gesteente doen oplossen. Wanneer de waterspiegel daalt, worden de scheuren, spelonken en zelfs grote grotten zichtbaar en toegankelijk voor de mens. Waterdruppels met opgeloste kalk hangen aan de plafonds van de grotten. Telkens verdampt het water of valt er een druppel naar beneden. Er blijft een minuscuul deeltje kalk aan het plafond hangen en vormt zo in de loop van honderden jaren stalactieten. De druppels die vallen, verdampen op de vloer van de grot. De kalk blijft liggen en groeit uit tot stalagmieten. Aan de oppervlakte van zo'n landschap met karstverschijnselen kunnen riviertjes en beekjes zomaar ineens in de ondergrond verdwijnen. Ook vind je er dolines: ronde depressies (kuilen) van enkele meters tot tientallen meters in doorsnee. De kalk is opgelost en de diepte in gespoeld.

Waarom verweert niet elk gesteente even gemakkelijk?

▶ Niet elk gesteente is even vatbaar voor het proces van verwering. Vier factoren zijn van invloed op dit proces.

1 De aard van het moedergesteente. Sommige typen gesteenten, zoals kalksteen, zijn zwakker of lossen beter op (figuur 2.20) waardoor chemische en fysische verwering er meer vat op heeft. Graniet bijvoorbeeld, is een erg hard gesteente en verweert moeilijk (figuur 1.44).

2 Het klimaat. Extreme temperatuurverschillen bevorderen fysische verwering (figuur 2.18). Warme, vochtige klimaten met veel plantengroei bevorderen juist vormen van chemische verwering.

3 Aanwezigheid van een dekkende bodemlaag. Je denkt misschien dat als er geen bodemlaag is, kale rotsen makkelijk verweren. Maar de verweringsprocessen verlopen dan juist zeer traag, omdat de rots meestal droog is. Een rots die bedekt is met een bodemlaag, zal beter water vasthouden, zodat de plantengroei de aanwezigheid van bacteriën zal stimuleren. Chemische en fysische verwering verlopen dan dus juist sneller.

4 De tijd. Hoe langer een berg is blootgesteld aan verwering, hoe meer hij wordt afgebroken. Het Harzgebergte in Duitsland is erg oud en heeft inmiddels afgeronde vormen (figuur 2.21). De Alpen daarentegen zijn een stuk jonger en hoger en hebben ruwe, scherpe reliëfvormen (figuur 2.22).



Figuur 2.20 Onderaardse kalksteengrot met karstverschijnselen.

> chemische verwering

> karstverschijnselen

Erosie en sedimentatie

▶ Is het gesteente eenmaal uiteengevallen, dan wordt het getransporteerd naar elders. Dit gebeurt door rivieren, wind, ijs en zee, waarbij een uitschurende werking ontstaat. Dit proces heet erosie. Uiteindelijk wordt het materiaal ergens neergelegd, gesedimenteerd. Verwering, erosie en sedimentatie zijn dus belangrijke elementen in de gesteentecyclus. Ze breken de landschappen die gevormd zijn door endogene krachten weer af, waarbij nieuwe landschapselementen gevormd kunnen worden.

Er zijn dus vier eroderende krachten die ook ieder weer voor nieuwe sedimentatie kunnen zorgen.

- De schurende werking van het ijs van gletsjers die beladen zijn met stenen, slijt diepe U-vormige dalen uit. Hoog in de bergen ontstaan door verwering en erosie spitse toppen, steile hellingen en komvormige bekkens (figuur 2.22). Puin dat wordt meegevoerd door gletsjers, vormt morenewallen, middenmorenen, zijmorenen of eindmorenen.
- De wind erodeert op twee manieren. Losse deeltjes op het aardoppervlak in een droog gebied worden weggeblazen. Dan blijft een bodem achter die bedekt is met los, grover puin. Dit landschap is gevormd door erosie. Als de zanddeeltjes elders worden neergelegd, ontstaan zandduinen. Afhankelijk van de ondergrond, de plantengroei of de hoeveelheid zand kunnen zo verschillende typen duinen gesedimenteerd worden (figuur 2.15).

Anderzijds kan de wind die beladen is met stof en zand, gesteente zandstralen, waarbij nieuwe deeltjes uit het



Figuur 2.21 Afgerond gebergte in de Harz.



Figuur 2.22 Veel reliëf in de Alpen.

> erosie


Figuur 2.23 Paddenstoelrots in de woestijn.


Figuur 2.24 De Verdon in Frankrijk heeft een diep dal uitgesleten.

gesteente worden losgemaakt. Hierdoor ontstaan zeer grillige rotsformaties zoals de paddenstoelrots in figuur 2.23.

- Erosie én sedimentatie vindt ook plaats door rivieren en beekjes.
  - Bij dalvormende rivieren wordt een kloof of een diep dal gevormd. Dit gebeurt wanneer het gebied door endogene krachten langzaam omhoogkomt. De rivier snijdt zich door erosie dan diep in. Dat zie je op de foto van figuur 2.24 bij de rivier de Verdon. Het kan ook zijn dat door grote hoogteverschillen de stroomsnelheid van de beken en riviertjes erg groot is. De kracht van het water is in staat grote stenen en al het losse verweerde bodemmateriaal mee te voeren. Er ontstaan diepe canyons.
  - Wanneer een rivier door een vlak gebied met weinig hoogteverschillen stroomt en er het hele jaar door genoeg water afgevoerd wordt, gaat zo'n rivier meanderen. Er ontstaan brede lussen (figuur 2.25). Het water stroomt niet


Figuur 2.25 Meanderende rivier.

> meanderen

snel, dus er kan veel zand en klei gesedimenteerd worden. Hoogstens in de buitenbochten vindt wat erosie plaats. Aan de monding van een rivier ontstaan deltakusten als de bedding door de grote hoeveelheden slib geblokkeerd wordt en er allerlei vertakkingen ontstaan.
  - Een derde type is de verwilderde of vlechtende rivier. Zo'n rivier bestaat uit een stelsel van veel kleine, middelmatig brede en ondiepe waterlopen die zich herhaaldelijk splitsen en weer samenkomen (figuur 2.26). Je vindt ze in gebieden met een onregelmatige afvoer van water, dus in semiwoestijnen en in berggebieden. De hoeveelheid puin die wordt meegevoerd en afgezet, is groot. Daardoor worden de beddingen voortdurend geblokkeerd en zoekt het water een andere bedding. Als een rivier vanuit de bergen via een smal dal plotseling uitkomt op een open vlakte, kan het water dat beladen is met verweringspuin, verschillende kanten op stromen. Het erosiemateriaal wordt door de lagere snelheid in grote puinwaaiers aan de voet van de bergen gesedimenteerd.


Figuur 2.26 Vlechtende rivier.

> deltakusten
> vlechtende rivier


Figuur 2.27 Kusterosie.

- Ten slotte kunnen de golven van de zee die beladen zijn met sediment, een sterk eroderende en sedimenterende werking hebben. Zand dat door de rivieren aan de monding is neergelegd, wordt door de golven van de zee meegenomen en elders weer gesedimenteerd. Golven kunnen rotskusten ondermijnen waardoor steile kliffen kunnen ontstaan (figuur 2.27). Het zeewater moet dan wel zand bevatten om het schuren mogelijk te maken. Soms worden daarbij prachtige bogen gevormd zoals je hebt gezien op de foto van figuur 1.11.

Het effect van de zwaartekracht

▶ Op 26 april 2010 gleed in Taiwan onverwacht een heel stuk berg de helling af en schoof over een lengte van 100 m over een zesbaans snelweg (figuur 2.28). Auto's en inzittenden werden bedolven onder vele tonnen zand en steen. Zo'n massa veroorzaakt niet alleen doden en schade aan de infrastructuur, maar heeft ook een eroderende kracht op het omliggende landschap. Hierbij speelt de zwaartekracht een belangrijke rol. Door deze kracht kunnen enorme massa's gesteente of bodems verplaatst worden.

▶ Soms gaat zo'n verplaatsing razendsnel, zoals bij de hierboven beschreven aardverschuiving. Andere voorbeelden van een snelle verplaatsing zijn een bergstorting (ook wel

> puinwaaiers
> aardverschuiving
> bergstorting



Figuur 2.28 Aardverschuiving in Taiwan.

gesteentelawine genoemd) of een modderstroom die veroorzaakt wordt door een vulkaanuitbarsting (lahar) of door veel regenval.
Soms gaat het proces veel trager, zoals bij creep, waar de bodem heel langzaam de helling af kruipt. Figuur 2.29 laat enige mogelijke massaverplaatsingen zien in relatie tot de hoeveelheid water en de valsnelheid.

● De aanleiding, ook wel 'trigger' genoemd, kan van natuurlijke of menselijke aard zijn. Een aardbeving, vulkaanuitbarsting of heftige regenval kan ervoor zorgen dat een massa gesteente in beweging komt. Maar ook de mens kan mede schuldig zijn aan zo'n verplaatsing. Door bomen te kappen op steile hellingen, wordt de bodem niet meer goed vastgehouden. Als de grond door regen verzadigd is, kan de bodem makkelijk schuiven. Bij de aardverschuiving in Taiwan vermoedt men dat overvloedige regenval in voorafgaande dagen, gecombineerd met de aard van het gesteente en het niet correcte verstevigen van de hellingen langs de snelweg, de ramp hebben veroorzaakt.

● De gevolgen van massaverplaatsingen zijn vaak desastreus. Zo veroorzaakte een aardbeving in juni 1990 in West-Iran een aardverschuiving, waarbij 40.000 tot 50.000 doden te betreuren waren. En 23.000 mensen werden door een lahar bij de vulkaanuitbarsting van de Nevado del Ruiz in Colombia begraven onder een dikke modderstroom.

	Langzaam, lage verzadiging van water	**Iets hogere snelheid, meer water**	**Gemiddelde snelheid, hoge verzadiging van water**	**Hoge snelheid, grote hoeveelheid lucht**
Gesteente		bergafglijding of landslide of aardverschuiving		steenlawine en bergstorting
Los sediment	kruip of soil creep	afschuiving	modderstroom, lahar of mudflow	

Figuur 2.29 Soorten massabewegingen.





2.4 Donau en Colorado

Tweeluik

Op de foto's zie je de brede Donau en de snelstromende Colorado. De een heeft zijn stroomgebied in Europa, de ander in Noord-Amerika. Het grootste verschil tussen die twee gebieden ligt niet zozeer in de lengte, maar in de landschappen. Dat heeft te maken met de verschillende endogene en exogene krachten die deze gebieden hebben gevormd. Donau en Colorado vormen samen een tweeluik in deze paragraaf.

Twee reisbeschrijvingen

▶ 'De wanden van de canyon komen dichter bij elkaar naarmate we verder lopen. We omzeilen nog een paar poelen en zien ons spiegelbeeld boven de spiegeling van de rode wanden achter ons. Dan horen we de waterval. Ze ziet eruit als een bloem, haast als een orchidee met zijn omlaag gerichte lip die wijst naar de lichtende kolk aan de voet. Eenmaal weer in de boot krijgen we de verschillende aardlagen schitterend te zien. Terwijl we de rivier afzakken, komen ze geleidelijk aan boven water, als een feniks. Eerst zien we de nieuwe laag een stukje boven de waterspiegel en tien minuten later is hij al meer dan manshoog. Het is alsof er om ons heen een bergketen groeit. Het plateau is opgetild en de rivier heeft zich door deze gewelfde spekkoek heen gesneden als een meanderend mes.'

▶ 'Vanuit Duitsland stroomt de Donau de Oostenrijkse Wachauvallei in, een gebied dat een vruchtbare bodem vormt voor zowel wijn als vroomheid. De terrassen met wijnranken lopen langs hellingen omhoog, alsof ze de zegen vragen van de grote middeleeuwse kloosters op de heuvels bij Melk en Krems. De rivier voert langs ruïnes van kastelen en abrikozenboomgaarden die de oevers met witte bloesems tooien. Het landschap van Wachau is betoverend, maar geen andere plaats wordt zo sterk met de charme van de Donau geassocieerd als het nabijgelegen Wenen. Het contrast tussen de nostalgie van de 'blauwe Donau' en de werkelijkheid is nergens groter dan in voormalig Joegoslavië dat door de NAVO werd gebombardeerd om een einde te maken aan de aanvallen op etnische Albanezen in de zuidelijke provincie Kosovo. In Novi Sad werden een olieraffinaderij en drie bruggen verwoest.'

▶ Twee reisbeschrijvingen van trektochten over twee verschillende rivieren. De landschappen zijn totaal verschillend. Hierna lees je meer over deze twee rivieren. De figuren maken het beeld compleet. Aan de hand van de opdrachten in het werkboek beschrijf en verklaar je de verschillen.

Colorado

▶ De oorsprong van de Colorado ligt in het hooggebergte van de Rocky Mountains in de V.S. (figuur 2.30). Na een traject van enkele honderden kilometers door de bergen stroomt de rivier naar het zuidwesten over de grote plateaus. In dit gebied heeft de rivier zich in het landschap ingesneden. De prachtige, diepe canyons die daardoor zijn ontstaan, liggen in steppen en woestijngebieden (figuur 2.31). Men heeft in vroeger eeuwen

Naam	Stroomgebied (x1.000 km²)	Lengte (km)	Volume (debiet) (m³/sec)	Mondt uit in	Ontspringt op/in
Wolga	1.360	3.531	8.000	Kaspische Zee	Valdajhoogte (225 m) in Rusland
Donau	817	2.850	6.430	Zwarte Zee	Breg (1.007 m) of Donaueschingen (690 m)
Colorado	639	2.352	1.206 (droge jaren: 570)	Golf van California	Rocky Mountains (2.750 m)
Rijn	185	1.326	2.500	Noordzee	Gotthardmassief (Vorderrhein) en Berninamassief (Hinterrhein): 2.900 m)

Figuur 2.30 Wolga, Donau, Colorado en Rijn vergeleken.

tevergeefs geprobeerd de Grand Canyon te onderzoeken. In 1869 lukte het majoor Powell als eerste de canyon met bootjes te doorkruisen. De eerste bewoners waren Indianen, de Anasazi, die rond 1100 op de plateaus en in de canyons leefden.
Nog zuidelijker stroomt de Colorado tussen de grote woestijnen, de Sonora en de Mojave Desert. Uiteindelijk mondt de rivier na ruim 2.300 km uit op Mexicaans grondgebied in de Golf van California.

- In het bergklimaat van de Rocky Mountains voeden een paar kleine gletsjers en met name smeltende sneeuw in de lente en vroege zomer de vele wildstromende beekjes. Al dat water bereikt via de Colorado de laaggelegen woestijngebieden. In Utah is de breedte 60 tot 370 m en de diepte 1,8 tot 9 m. In California is de rivier 90 tot 610 m breed en 2,7 tot 40 m diep. Het teveel aan water zorgde in het begin van de twintigste eeuw in het voorjaar veelvuldig voor overstromingen in de benedenloop van de rivier. Daarbij kwamen mensen om het leven, en werden oogsten en huizen vernield. In de late zomer en vroege herfst kon het zo droog worden in het stroomgebied dat de rivier een armzalig stroompje werd. In deze droge tijd leverde het tekort aan water ook problemen op voor de gewassen. Om de wisselende waterstanden beter te reguleren, heeft men in de loop van de twintigste eeuw wel twintig dammen gebouwd (figuur 2.32).
- Hoewel er geen echt grote steden aan de oevers van de Colorado liggen, ligt de benedenloop van de rivier wel in de buurt van zeer grote bevolkingsconcentraties. Las Vegas, Phoenix, de agglomeratie van Los Angeles en San Diego en de landbouwgebieden in Imperial Valley zijn in grote mate afhankelijk van het water van de Colorado. Met de bouw van de dammen heeft men nu de beschikking over hydro-elektriciteit, drinkwater en water voor de landbouw. Er wordt tegenwoordig zoveel water afgetapt via irrigatiekanalen en pijpleidingen, dat de monding van de rivier meestal droog staat. Dit gebied dat vroeger zoet water naar de zee leidde, is nu een verzilt estuarium met zoutmoerassen geworden (figuur 2.33).
- De rivier is ongeschikt voor de commerciële scheepvaart vanwege de stroomversnellingen, de hoge dammen en omdat ze geen verbinding (meer) heeft met de zee. Daarnaast liggen er geen belangrijke stedelijke en industriële gebieden langs de oevers. Toeristen gebruiken de Colorado wel om te raften, te kanoën en te varen op de grote meren achter de dammen.

Ontstaan van de Grand Canyon

Veel sedimentlagen die nu de steile wanden vormen van de Grand Canyon, zijn miljoenen jaren geleden ontstaan, vaak in ondiep water in de nabijheid van een kust. Daarbij zijn honderden meters dikke zand-, kalk- en kleilagen gesedimenteerd en door de druk van bovenliggende lagen veranderd in sedimentgesteenten.
Over het ontstaan van de Grand Canyon bestaan verschillende theorieën. Maar zeker is dat het gebied zo'n 17 tot 5 miljoen jaar geleden met al die sedimentpakketten honderden meters werd opgeheven. Zo werd het Colorado Plateau gevormd. De rivier heeft zich tijdens en na de opheffing ingesneden in het gesteente. De kloof die daar is gevormd, is 400 km lang, 6 tot 30 km breed en 1.200 tot 1.800 m diep. Onderaan snijdt deze rivier heel oud gesteente (schisten en granieten) uit het Precambrium aan. Daarboven liggen horizontale lagen zandsteen, kalksteen en schalies in afwisselend witte en rode kleuren. Colorado betekent in het Spaans 'roodkleurig'.
Verwering en erosie doen nog steeds hun werk. Kleine ravijnen waar soms water in stroomt, monden uit in de grote canyon.

Tegenwoordig is dit gebied een nationaal park, dat elk jaar door vijf miljoen toeristen bewonderd wordt. Op de kliffen zijn uitzichtpunten, lodges en campings gebouwd en wandelroutes uitgezet. Er is zelfs een 'skywalk' van glas gebouwd die 1.450 m boven de canyon uitsteekt. In de canyon kunnen toeristen ook kamperen, maar men reguleert de aantallen door toegangsbewijzen af te geven.

Figuur 2.31 Grand Canyon.

De Colorado droogt op

In de Coloradorivier zijn grote dammen gebouwd. Die dammen houden het vruchtbare slib tegen dat vroeger in het vlakke gedeelte van de benedenloop, net over de Mexicaanse grens, en in zee werd afgezet. De Colorado voorziet 23 miljoen mensen van drinkwater en zorgt voor water voor de industrie. Verder wordt 1.620.000 ha land bevloeid. De verzilting in dit gebied is erg groot. Jaarlijks bedraagt de schade $ 500 tot $ 750 miljoen in de V.S. en zo'n $ 100 miljoen in Mexico. Daarbij moet je denken aan schade aan gewassen (door het steeds zoutere water kunnen planten minder goed groeien), aan pijpleidingen en door 'herstelmaatregelen'.

De V.S. heeft met Mexico een verdrag afgesloten om de verzilting in beide landen te beperken. Zo moet de V.S. bepaalde hoeveelheden water van goede kwaliteit aan Mexico leveren. Het grote probleem is dat de vraag naar water in de V.S. zo sterk groeit, dat er te weinig water dreigt over te blijven voor Mexico. Daar droogt de Colorado op. Men moet maatregelen nemen, zoals het gebruik van druppelirrigatie, de afvoer van overvloedig irrigatiewater via drainagebuizen en het repareren van lekkende irrigatiekanalen. Er zijn veel projecten, zoals een ontziltingsfabriek bij Yuma, in Arizona, vlak bij de Mexicaanse grens. Het water wordt van zouten ontdaan, gemengd met water dat niet ontzilt is om de juiste mineralensamenstelling te verkrijgen, en vervolgens weer de Colorado in gevoerd.

Figuur 2.32 De Colorado droogt op.

Salton Sea

In de lente van 1905 was er een grote overstroming in de benedenloop van de Colorado. Irrigatiekanalen en tijdelijke dammen begaven het door de druk van het vele water. De Colorado zocht een andere bedding en de vloedgolven stroomden naar een lager gelegen vallei waar een klein zoutmeer lag: Salton Sea. De oppervlakte van het meer werd wel twintig keer zo groot! Na ruim een jaar had men de oorspronkelijke bedding van de Colorado weer hersteld. Maar de Salton Sea is sindsdien nog ruim vijftien keer zo groot als voor de overstroming. Langs de oevers in dit woestijngebied vind je zoutafzettingen.

Figuur 2.33 Salton Sea.



Figuur 2.34



Figuur 2.35



Figuur 2.36



Figuur 2.37



Figuur 2.38



Figuur 2.39



Figuur 2.40



Figuur 2.41

Donau

▶ De bronnen van de rivier de Donau liggen in Donaueschingen in Duitsland, maar de rivier ontspringt hoger, in het Zwarte Woud, bij het riviertje de Breg (figuur 2.42). De rivier stroomt door maar liefst tien landen van Centraal- en Oost-Europa en mondt uit in de Zwarte Zee. Veel zijrivieren komen uit op de Donau.

De bovenloop voert via het middelgebergte en heuvelland van Zuid-Duitsland en Oostenrijk langs Wenen naar Bratislava in Slowakije (figuur 2.43). De middenloop stroomt langs Budapest in Hongarije, langs de grens van Kroatië en Servië, door Belgrado tot de IJzeren Poort op de grens van Servië en Roemenië. In dit gebied stroomt de Donau door verschillende kloven van 10 tot 20 km lengte. De smalste kloof is 220 m breed en de wanden

De Donau verdwijnt

De bron van de Donau wordt gevormd bij het punt waar twee riviertjes, de Breg en de grotere Brigach, samenstromen in Donaueschingen. In het kasteel van Von Fürstenberg is deze bron te bewonderen. Maar de oorsprong ligt dus wat verder, in het Zwarte Woud bij het begin van het riviertje de Breg. Het bijzondere van de Donau is dat een flink deel van het water in de bovenloop afwatert op de Rijn en dus op de Noordzee. Je zult je afvragen hoe dat kan. De Donau mondt toch uit in de Zwarte Zee en de waterscheiding wordt gevormd door de toppen van het Zwarte Woud. Deze bijzondere situatie heeft te maken met de ondergrond. Het gesteente in de ondergrond bij de bovenloop van de Donau bestaat uit kalksteen. Dit gesteente kan makkelijk chemisch verweren en oplossen. In dergelijke gaten zakt een flink deel van het Donauwater de diepte in en slijt verder holtes uit in het kalksteen. Je vindt er in de ondergrond allerlei karstverschijnselen. Uiteindelijk vindt het water zijn weg via ondergrondse stromen naar het lager gelegen dal van de Rijn. In droge zomers bevat de bedding van de Donau in de bovenloop nauwelijks water!

Figuur 2.42 De Donau verdwijnt.

Het Gabcikovoproject

In de middenloop van de Donau, op de grens tussen Slowakije en Hongarije, heeft men in 1992 een groot waterproject tot stand gebracht. De onderhandelingen hierover tussen Tsjecho-Slowakije en Hongarije begonnen al in de jaren vijftig. De inzet was een elektriciteitscentrale op waterkracht voor Slowakije en het verminderen van overstromingen.

Uiteindelijk heeft men op Slowaaks grondgebied een zijkanaal gegraven waar nu 80 tot 90% van het voormalige water van de Donau doorheen stroomt. Het kanaal is 23 km lang, 267 tot 737 m breed en 18 m hoog. Bovendien zijn er twee grote sluizen, een groot reservoir en een krachtige elektriciteitscentrale gebouwd. De gevolgen voor beide landen zijn zeer verschillend. Hongarije klaagt nu dat er te weinig water in de oorspronkelijke bedding stroomt. Daarentegen kan Slowakije met deze centrale in 10% van zijn energiebehoefte voorzien.

Figuur 2.43 Het Gabcikovoproject.

rijzen tot zo'n 500 m steil uit het water op. Omdat hier veel vrij grote stroomversnellingen voorkwamen, zijn er twee sluizen gebouwd die de bevaarbaarheid van dit deel van de rivier sinds 1972 sterk verbeterden. De benedenloop van de Donau wordt gevormd door de brede, goed ontwikkelde riviervlakten in het laagland en het achterliggende heuvelgebied van Bulgarije en Roemenië. Hier is de Donau een meanderende rivier van ongeveer 800 m breedte. Bij de monding in de Zwarte Zee splitst de Donau zich in drie grote takken en heeft in de loop der tijd een enorme delta opgebouwd (figuur 2.44).

- De Donau is vanaf de monding aan de Zwarte Zee voor oceaanschepen bevaarbaar tot Brăila in Roemenië. Rivierschepen kunnen stroomopwaarts komen tot Kelheim in Zuid-Duitsland. Bij Kelheim begint het Main-Donaukanaal dat in 1992 is gereedgekomen. De schepen kunnen via dit kanaal en de Main en de Rijn naar Rotterdam varen. Kleine boten kunnen de Donau vanaf Kelheim verder stroomopwaarts bevaren tot Ulm.
- De Donau levert drinkwater voor zo'n 10 miljoen mensen. In Oostenrijk en de voormalige Oostbloklanden gebruikt men het water uit de Donau niet. Het is er te vervuild en men heeft andere bronnen. Er zijn veel dammen en sluizen in de Donau gebouwd, waaronder vijf in Duitsland, tien in Oostenrijk en twee op de grens bij Servië en Roemenië. Toch zijn er nog steeds veel overstromingen in dit stroomgebied (figuur 2.45) en ecologische problemen.

De natuurreservaten en nationale parken in het Donaugebied trekken veel toeristen.

Monding van de Donau

Het gebied bij de delta van de Donau aan de Zwarte Zee is een zeer waardevol ecologisch wetlandgebied. Elk jaar breidt het land zich zeewaarts met zo'n 40 m uit. Er zijn verschillende natuurlijke ecosystemen en natuurgebieden die door de mens zijn vormgegeven. Zoet water, zout water, stilstaand water, stromend water, moerassen, rivieroevers, landbouwzones, visserijgebieden en oude bossen met subtropische vegetatie vormen een zeer gevarieerd geheel. Veel vogels hebben hier hun standplaats of rustplek tijdens de trek.

Figuur 2.44 Monding van de Donau.

Overstromingen

De Donau heeft al eeuwen te maken gehad met overstromingen en steeds probeerde men de rivier te reguleren. Met name vanaf 1870 werd de regulering grootschalig aangepakt. Sindsdien zijn talloze projecten uitgevoerd, zoals de bouw van dammen, de versteviging van oevers en het omleiden van het water via kanalen, zoals het Gabcikovoproject.

Toch heeft dit niet kunnen verhinderen dat er zich in 2002 en in 2005 grote overstromingen hebben voorgedaan. Bij de laatstgenoemde overstroming moesten 12.000 mensen geëvacueerd worden, werden 43.000 huizen vernield en ruim 4.500 bruggen. Ook in het voorjaar van 2006 werd de Balkan overspoeld door smelt- en regenwater tegelijk, zodat in delen van Roemenië, Servië en Bulgarije de noodtoestand weer uitgeroepen werd. In het vlakke gebied in Servië waar de Donau en de Tisza samenvloeien, loopt 12.000 km aan afwateringskanalen. Maar omdat de laatste twintig jaar vrijwel geen geld in het onderhoud is gestoken (het geld ging op aan oorlogen en de gevolgen daarvan), functioneren die kanalen niet goed meer. In 2009 was het weer raak in Oostenrijk en Hongarije. In Wenen dreigde de Donau een depot van een groot museum onder water te zetten en moesten 950.000 kunstwerken verplaatst worden.

Figuur 2.45 Overstromingen.

Begrippen hoofdstuk 2

Aardverschuiving 53
Het plotseling naar beneden schuiven van grote hoeveelheden aarde.

Albedo 42
Deel van de zonnestraling dat door een oppervlak wordt teruggekaatst.

Atmosfeer 38
Dampkring, bestaande uit gassen die de aarde omringen.

Bergstorting 53
Het van een berghelling omlaag schieten van een grote massa stenen. Heet ook wel gesteentelawine.

Biosfeer 39
De ruimte waarin het aardse leven voorkomt.

Chemische verwering 50
Verwering waarbij de samenstelling van het gesteente verandert.

Deltakust 53
Opeenhoping van sedimenten bij de monding van een rivier in een zee of meer.

El Niño 46
Het tijdelijk stoppen van het opwellen van koud zeewater bij de kust van Peru.

Energiebalans (of stralingsbalans) 41
Verhouding tussen de kortgolvige instraling (zonlicht) op aarde, de naar het heelal teruggekaatste straling en de langgolvige uitstraling (warmte) van de aarde.

Erosie 51
Uitschurende werking van sediment dat getransporteerd wordt door rivieren, zee, ijs of wind.

Fysische verwering 49
Uiteenvallen van gesteente waarbij de samenstelling van het gesteente niet verandert. Heet ook wel mechanische verwering.

Hogedrukgebied 44
Gebied met een dalende luchtbeweging en een luchtdruk van meer dan 1.013 hPa met meestal weinig neerslag.

Hydrosfeer 39
Gedeelte van de aarde dat uit water bestaat.

Intertropische convergentiezone (ITC) 43
Het lagedrukgebied in de tropen waar zowel winden uit het zuiden als uit het noorden bij elkaar komen (het tropisch minimum).

Karstverschijnselen 50
Ontstaan van landschapselementen door de oplossing van kalkgesteente.

Klimaat 46
Gemiddelde weerstoestand over een langere periode (dertig jaar) en een groot gebied.

Koolstofkringloop 39
Verhouding en overgangssituaties tussen de hoeveelheden koolstof in atmosfeer, biosfeer, lithosfeer en hydrosfeer.

Lagedrukgebied 43
Gebied met een stijgende luchtbeweging en een luchtdruk van minder dan 1.013 hPa met meestal veel neerslag.

Meanderen 52
Het kronkelen van rivieren.

Moesson 44
Halfjaarlijkse land- of zeewind.

Passaat 44
Bestendige, relatief droge wind in de subtropen.

Puinwaaier 53
Massa puin die aan de voet van een berg of heuvel wordt gesedimenteerd door rivieren of de zwaartekracht.

Thermohaline circulatie 44
Diepzeestroom en oppervlaktezeestroom, veroorzaakt door zwaar (koud en zout) afzinkend water en wind.

Troposfeer 38
Onderste laag van de atmosfeer waarin de weersverschijnselen zich afspelen.

Verwering 49
Uiteenvallen van gesteente onder invloed van atmosferische verschijnselen en vegetatie.

Vlechtende rivier 53
Rivier die zich manifesteert als een vlechtwerk. Komt meestal voor bij rivieren met een onregelmatig debiet. Heet ook wel verwilderde rivier.

Waterkringloop 39
Verhouding en overgangssituaties van water in de atmosfeer, hydrosfeer, lithosfeer en biosfeer.

Wind 44
Bewegende lucht bij drukverschillen.



3 Landschappen en hun gebruikers



Niger Bomen tussen de gewassen

In Maradi, in het zuidelijke deel van Niger, planten boeren verschillende typen bomen tussen hun akkerbouwgewassen. De regio ligt in de Sahel, de droge zone waar de woestijn steeds verder dreigt op te rukken. Het gebied werd vóór dit experiment regelmatig getroffen door hongersnoden omdat de oogst vaak door de droogte mislukte. De boeren planten nu al vijftien jaar bomen. Vooral de acacia's zijn een succes. Ze geven extra schaduw, waardoor de grond minder snel uitdroogt. De humus van dode bladeren bevordert de structuur van de bodem voor de gewassen in de directe nabijheid. De bomen beschermen de gewassen ook tegen de soms harde winden. En van het meel van de vermalen zaden kunnen voedzame balletjes gebakken worden. Bovendien levert elke boom elk jaar, bij zorgvuldig snoeien, brandhout op. Zo zijn de bomen in zeer droge perioden een appeltje voor de dorst: de boeren hebben extra verdiensten door de verkoop van brandhout en zaden. En de opbrengsten van de landbouwgewassen zijn in goede jaren hoger. Hongersnood komt hier sindsdien niet meer voor. Het planten van bomen tussen de akkerbouwgewassen is een duurzame aanpassing aan de natuur.



3.1 Natuurlijke landschappen op aarde

Zomer op de toendra

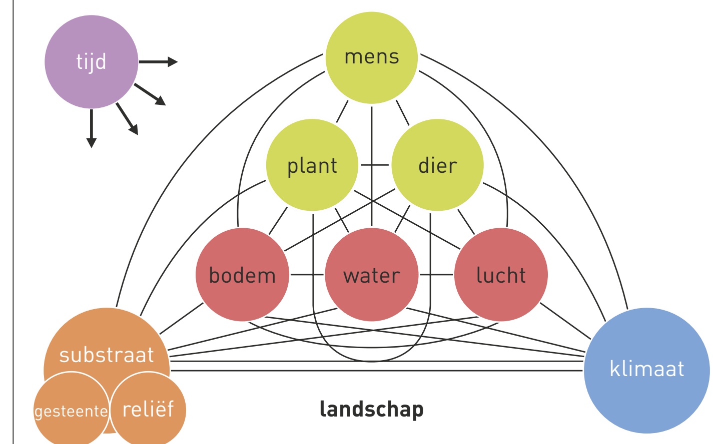
Kleine struiken en bloemen bloeien 's zomers uitbundig op de toendra. Je vindt er geen bomen, want daarvoor is de bodem te dun en is het er te koud. Alleen de bovenste laag van de permafrost is ontdooid. Brede rivieren voeren een deel van het smeltwater af. Er vormen zich grote moerassen. Duizenden insecten gedijen in het stilstaande water. Vele ganzen doen zich tegoed aan het gras en de moerasvegetatie en broeden hier in een veilige, verlaten omgeving. Een kort seizoen vol leven.

Landschapsfactoren

▶ Maak een reis over de aarde en je komt allerlei landschappen tegen: van de toendra in het noorden tot het tropische oerwoud bij de evenaar. In Nederland speelt de mens een grote rol bij de vorming van landschappen. Wij hebben bijna geen natuurlandschappen meer. Maar op wereldschaal ligt dat anders.
In deze paragraaf bekijk je welke natuurlijke landschappen of ecosystemen er op aarde voorkomen. In paragraaf 3.2 verdiep je je in cultuurlandschappen en zie je in hoeverre de mens bepalend is, dan wel hoe hij zich heeft moeten aanpassen aan de natuurlijke factoren.

▶ Je weet dat de endogene én exogene krachten de landschappen vormgeven. Vier sferen – de lithosfeer, de atmosfeer, de hydrosfeer en de biosfeer – vormen de basis voor het ontstaan van verschillende landschappen. Om het ontstaan en de ontwikkeling van een ecosysteem goed te kunnen begrijpen, heb je een iets gedetailleerder systeem nodig. Daarbij gebruik je de geofactoren: gesteente en reliëf, klimaat en lucht, bodem, water, vegetatie, mens en dier en ten slotte: tijd. In figuur 3.1 is te zien hoe ze elkaar beïnvloeden. Zo'n systeem is voortdurend onderhevig aan veranderingen, maar blijft – als de veranderingen niet te heftig zijn – in evenwicht.

● De factoren gesteente en reliëf, ook wel substraat genoemd, behoren tot de lithosfeer. In hoofdstuk 1 en 2 zijn de kenmerken van de lithosfeer en de relaties met de hydrosfeer (water) en de atmosfeer (klimaat) al uitgebreid besproken.

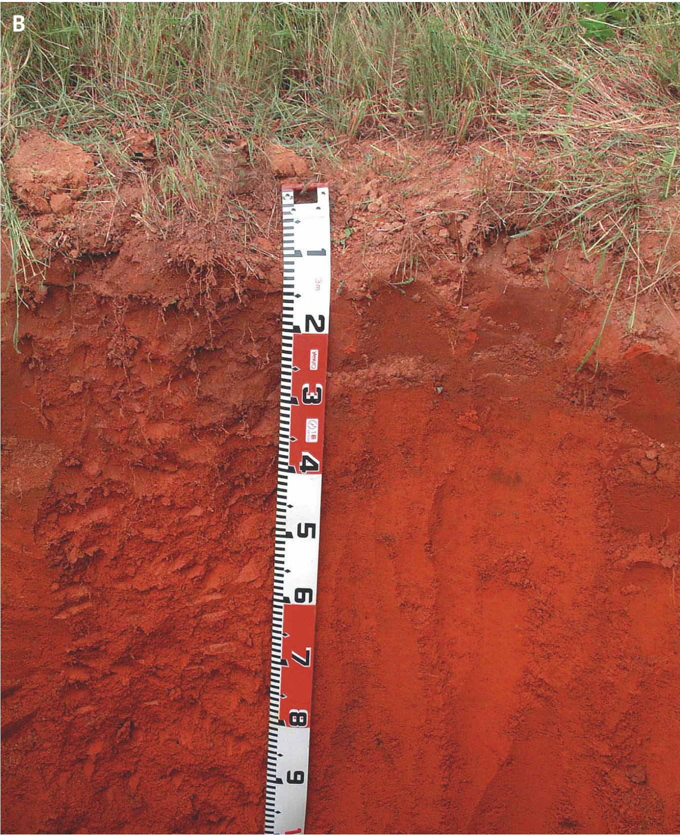


Figuur 3.1 Samenhang van de geofactoren.

> geofactoren

- Klimaat en lucht spelen zich voornamelijk af in de atmosfeer. In hoofdstuk 2 heb je geleerd hoe en waarom het klimaat op aarde van plaats tot plaats verandert.
- De bodem bestaat uit dat deel van de grond waaruit planten het grootste deel van hun voedingsstoffen halen. Onder invloed van tijd, klimaat, vegetatie, bodemleven en aard van het moedermateriaal kunnen zich verschillende lagen vormen, ook wel horizonten genoemd. De biosfeer, de lithosfeer en de hydrosfeer spelen dus alle drie een belangrijke rol bij de vorming van de bodems. Afhankelijk van de hoeveelheid water, leven en aard van het moedermateriaal vormt zich bijvoorbeeld veel of weinig humus. We komen in deze paragraaf nog uitgebreider op de bodem terug.





Figuur 3.2 A: tropisch regenwoud; B: tropische bodem.

> bodem

- Water behoort tot de hydrosfeer en is bepalend voor de biosfeer. Planten, dieren en de mens kunnen niet zonder water.
- De vegetatie, onderdeel van de biosfeer, is afhankelijk van klimaat en bodem. De verschillende vegetatiezones worden in deze paragraaf beschreven.
- Mens en dier behoren ook tot de biosfeer. In paragraaf 3.2 zie je in hoeverre met name de mens afhankelijk is van de andere geofactoren.
- De bovengenoemde geofactoren vormen gedurende korte of langere tijd de verschillende ecosystemen.

Landschapszones

▶ Wanneer je de natuurlijke landschappen op wereldschaal bekijkt, werk je met globale concepten. Daarbij ontstaat een heel andere indeling dan wanneer je landschappen of ecosystemen op regionale schaal zou bestuderen. Je kunt niet ingaan op allerlei details. Hierna bekijk je zes landschapszones op wereldschaal. Bij vijf zones is de temperatuur het basiscriterium, bij de zesde zone de neerslag.

Tropische zone

▶ De tropische zone strekt zich, grofweg gezien, aan weerszijden van de evenaar tussen de keerkringen uit. Het klimaat is warm, de temperaturen komen nooit onder de 18 °C. Er valt gedurende het hele jaar overvloedige neerslag óf het gebied heeft één droger seizoen. Door de grote hoeveelheden neerslag en de hoge temperaturen kunnen dichtbegroeide oerwouden ontstaan (figuur 3.2A). Bij de moessonklimaten met een droog seizoen vind je uitgestrekte savannen: graslanden met kleine bosjes (figuur 3.3).

- De bodem in de tropische zone behoort tot het type tropische bodem, ook wel latosol geheten. Door de hoge temperatuur en de vochtige omstandigheden zitten er veel bacteriën in de grond. Die kunnen dood plantenmateriaal snel omzetten in mineralen. De mineralen worden weer direct door de plantenwortels opgenomen. Er blijft niet veel humus in de bodem achter. Door de grote hoeveelheden neerslag vindt er veel uitspoeling van zouten plaats. Omdat er geen humuszuren in de bodem voorkomen, lossen de ijzer- en aluminiumoxiden niet op en accumuleren ze in de bodems als rode kleilagen (lateriet, figuur 3.2B). Deze bodems zijn niet erg vruchtbaar.

> tropische zone



Figuur 3.3 Savanne.

Subtropische zone

▶ In de subtropische zone is het wat koeler dan in de tropen. Ten minste acht maanden per jaar ligt de temperatuur boven de 10 °C. Neerslag valt gedurende het hele jaar (subtropisch zeeklimaat) of kent een droog seizoen (Middellandse Zeeklimaat). Licht tropisch woud en zomergroene loofwouden gedijen goed in de vochtige gebieden. In het Middellandse Zeeklimaat komen plantensoorten voor die tegen de droge zomer bestand zijn (figuur 3.4).

- De bodems kennen wat minder uitspoeling dan de tropische bodems en zijn roodgeel van kleur.



Figuur 3.4 Mediterrane plantengroei.

> subtropische zone

Gematigde zone

▶ De gematigde zone beslaat met name op het noordelijk halfrond een erg groot oppervlak van de continenten. Grote delen van Noord-Amerika, Europa en Rusland behoren tot deze landschapszone. Op het zuidelijk halfrond bevinden zich op deze breedte nauwelijks landmassa's, zodat deze zone daar slechts in kleine gebieden te vinden is. De temperatuur in deze zone kent, afhankelijk van de invloed van de zee, een matigende invloed of juist grote verschillen tussen winter en zomer. Ten minste vier maanden per jaar is het warmer dan 10 °C. In de warmere gebieden groeien zomergroene loofwouden (figuur 3.5). In de gebieden met strengere winters vind je gemengde wouden: loofbomen en naaldbomen.

- De bodems hebben verschillende horizonten. De bladeren van de zomergroene loofwouden geven een redelijke humuslaag (A1-laag). Er vindt wel uitspoeling plaats, maar door de hogere temperaturen worden er niet zoveel zouten uitgespoeld (dunne A2-horizont). Deze zouten komen in een inspoelingslaag, de B-laag terecht. Deze bruine bosbodem in de gematigde zone is vruchtbaarder dan de podzol die je in de volgende zone tegenkomt.



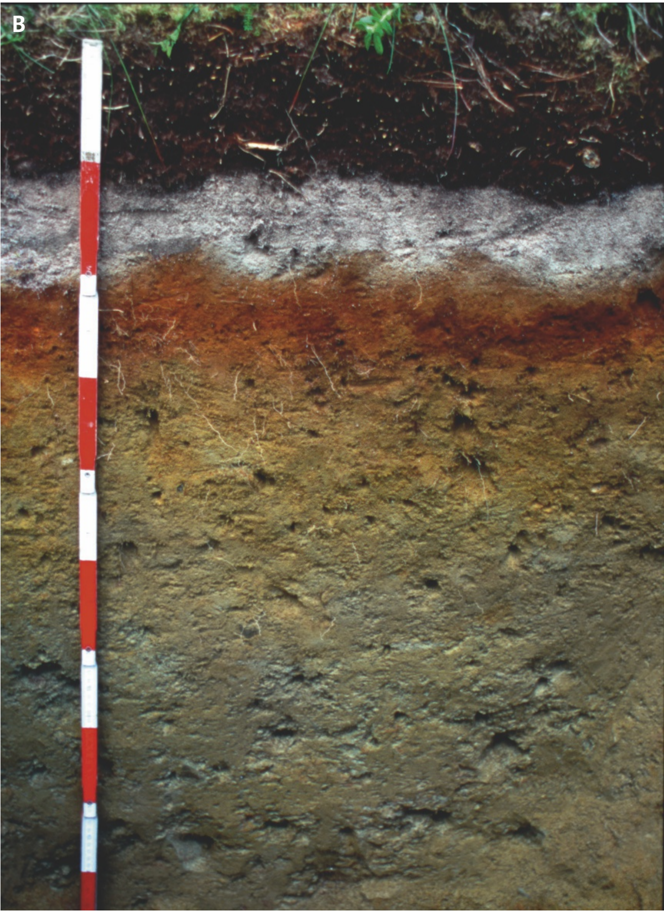
Figuur 3.5 Loofwoud.

> gematigde zone

Boreale zone

▶ Als overgang tussen de gematigde zone en de polaire zone vind je de boreale zone. Hier is het gemiddeld slechts enkele maanden per jaar warmer dan 10 °C. De winters zijn zeer streng.





Figuur 3.6 A: naaldwoud (taiga) in Rusland; B: podzolprofiel.

> boreale zone

Er valt niet zo heel veel neerslag. Door de lage temperaturen verdampt niet veel van de vochtigheid. De vegetatie bestaat uit uitgestrekte dennenbossen, in Rusland ook wel taiga's genoemd (figuur 3.6A). Deze zone komt niet voor op het zuidelijk halfrond, omdat daar geen uitgestrekte continenten zijn.

● In deze gebieden vind je de podzolbodems. Door de begroeiing van dennenbossen is de humuslaag (de A1-horizont) zuur. De neerslag is groter dan de verdamping. Er vindt uitspoeling plaats van zouten en mineralen (A2-horizont). Dit geeft een askleurige laag. Dieper in de bodem hopen deze zouten zich op in de inspoelingslaag (B-horizont). Het moedermateriaal waarin de bodem is gevormd, is zand (C-horizont). Het profiel van zo'n bodem zie je in figuur 3.6B.

Polaire zone

▶ In de gebieden bij de polen, waar de gemiddelde maandtemperatuur nooit boven de 10 °C uitkomt, is het te koud voor bomen. In deze polaire zone kan de temperatuur in de winter, wanneer de zon niet boven de horizon komt, dalen tot −45 °C. Neerslag valt vaak in de vorm van sneeuw. Zoals je in de inleiding van de paragraaf hebt kunnen lezen, en op de openingsfoto hebt kunnen zien, vind je in de meer gematigde gebieden van deze polaire zone de toendra's. Daar groeien struikachtige planten, grassen, mossen en moerassen. In de zeer koude gebieden, zoals op Antarctica en Groenland, komen ijskappen voor. De bodems in deze gebieden zijn toendrabodems. In deze bodems vind je niet veel horizonten. De grond is een flink deel van het jaar bevroren.

Aride zone

▶ Vormt de temperatuur bij de hierboven beschreven indeling van landschapszones het belangrijkste criterium, bij de laatste zone kijk je naar de hoeveelheid neerslag.
Dwars door de tropische, subtropische en gematigde landschapszones liggen gebieden die droog tot zeer droog zijn. Dit zijn de aride zones.
De breedteligging, de aflandige winden, dan wel de ligging in de regenschaduw van de bergen, zorgen in deze gebieden voor slechts geringe hoeveelheden regen. In de tropen en subtropen daalt de aangevoerde warme lucht uit de equatoriale zone. Hier liggen de hete, droge woestijnen met nauwelijks plantengroei

> polaire zone
> aride zones



Figuur 3.7 Woestijn.

(figuur 3.7). In iets noordelijkere gebieden met aflandige passaten kunnen wat koelere woestijnen liggen. En in de gematigde zones met weinig invloed van zee komen woestijnen en steppen (figuur 3.8A) voor met grote temperatuurverschillen tussen zomer en winter.

● De woestijnbodem kent natuurlijk weinig humus. Je vindt er geen uitspoeling en inspoeling omdat de neerslag zo gering is. Door de kracht van de zon kan het water in de bodem opstijgen en opgeloste zouten meenemen.

● Op de steppen met veel gras ontwikkelt zich een humusrijke laag (A1-horizont). Op de grens met de gematigde landschapszone – in gebieden met hoog, lang gras met lange wortelstelsels – ontstaat een dikke, zwarte humuslaag. Dit zijn de vruchtbare zwarte aardbodems (figuur 3.8B).





Figuur 3.8 A: steppe; B: zwarte aarde.



3.2 Boeren en hun cultuurlandschappen

Bananenteelt

Op een bananenplantage in de tropen hangen de planten vol met grote trossen. Ze eisen veel verzorging. Tussen de rijen planten lopen irrigatiekanalen om ze te voorzien van water. De temperatuur mag niet beneden de 10 °C komen. De trossen vruchten worden verpakt in blauw plastic om ze te beschermen tegen ongedierte en tegen de chemicaliën die gespoten worden om ziektes te voorkomen. Een ingenieus transportsysteem met kabels vervoert de geplukte trossen naar de sorteerfabrieken.

Cultuurlandschappen

▶ Naast natuurlandschappen zijn er ook uitgestrekte gebieden waar de mens het landschap heeft omgevormd tot cultuurlandschappen. Denk aan steden, industriegebieden, wegen, landbouwgebieden en recreatiegebieden. Van de drie beroepssectoren landbouw, industrie en diensten is de landbouw de sector die de grootste oppervlakten natuur heeft omgevormd tot cultuurlandschappen. Daarbij is de landbouw ook het meest gebonden aan de natuur. Voor het uitoefenen van de landbouw heeft de boer grond nodig om gewassen te kunnen telen of voer te kunnen verbouwen voor het vee. Sommige gewassen, zoals bananen (zie inleiding), hebben gedurende de hele groeiperiode veel neerslag nodig of warme temperaturen, terwijl het bij andere gewassen, zoals katoen, rond de oogsttijd niet mag regenen.

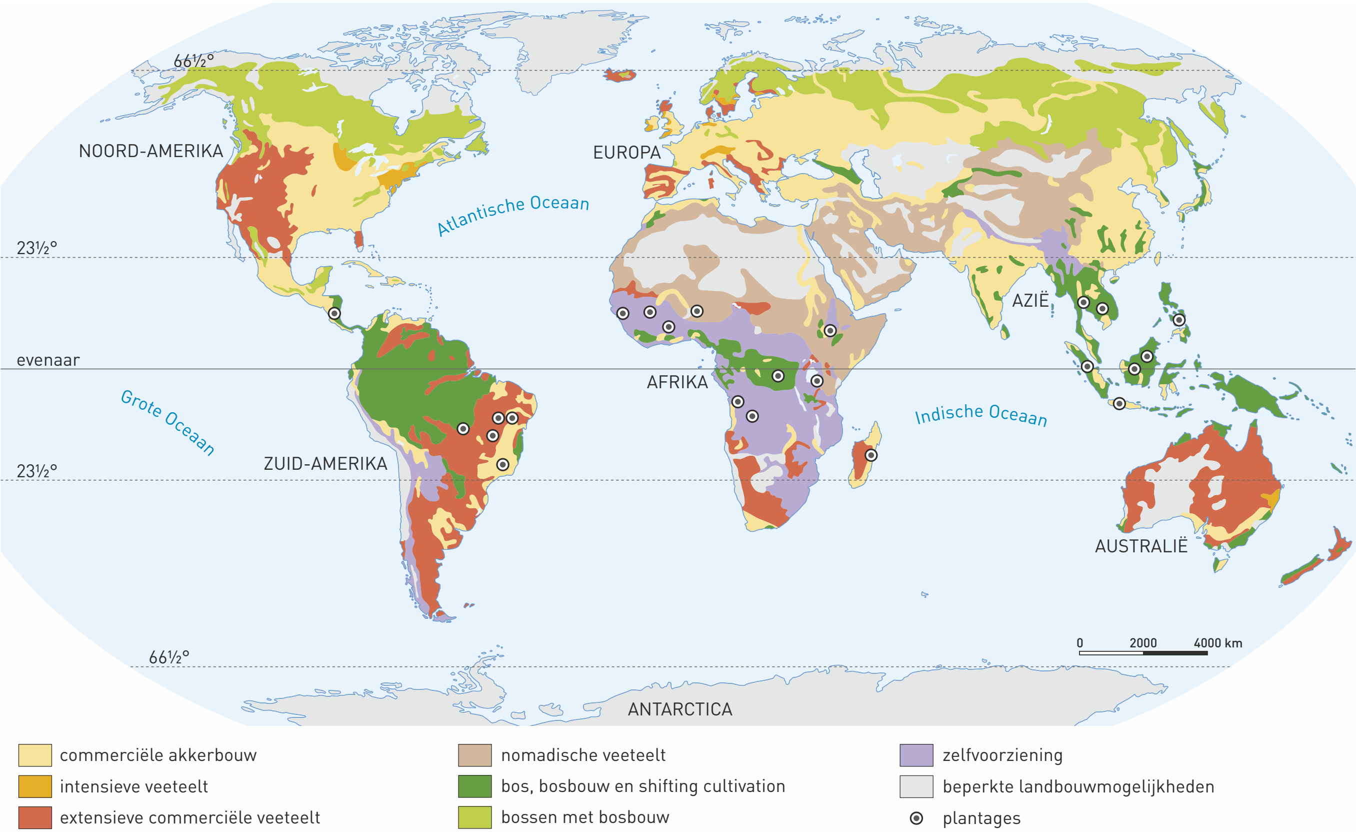
Landbouwzones

▶ In figuur 3.9 zie je de spreiding van landbouwzones op aarde. Deze spreiding is niet zozeer gebaseerd op concrete producten, maar op de manier van produceren. Je bekijkt in hoeverre de geofactoren klimaat en bodem deze spreiding van zones op aarde bepalen.

Tropen en subtropen

● Rondom de evenaar, in de tropen, zie je in figuur 3.9 gebieden met 'voornamelijk bos'. Dit zijn de tropische regenwouden waar *shifting cultivation* voorkomt, ook wel brandlandbouw of ladang genoemd. Stukken bos worden gekapt of platgebrand, waarna de boer een of twee jaar kan zaaien. De oogst is bestemd voor de eigen familie. Daarna is de bodem uitgeput en bebouwt hij vervolgens een ander stuk land, zodat de bodem zich kan herstellen. Bij deze vorm van landbouw mag de bevolkingsdichtheid natuurlijk niet te groot worden.

● In de tropische en subtropische landschapszones vind je *zelfvoorzienende* akkerbouw. Boeren verbouwen maïs, graan, knolgewassen (zoals cassave) en groenten. Door de hoge bevolkingsdichtheid in deze gebieden zijn de bedrijfjes klein. De grond wordt jaar in jaar uit intensief benut. Deze vorm van landbouw vereist veel arbeid en de boeren bereiken, met bemesting, soms een vrij hoge productie op kleine stukjes grond. Dan kan een deel van de oogst verkocht worden op de regionale markt. Maar de tropische bodems zijn niet rijk aan



Figuur 3.9 Landbouwzones op aarde.

voedingsstoffen. Op veel kleine bedrijfjes worden ze vaak niet bemest en dan is de oogst maar net genoeg om in leven te blijven. Dit geldt ook voor akkers die op de hellingen van heuvels liggen. Deze vorm van landbouw vind je met name in Afrika. In Zuid-Amerika en Zuidoost-Azië is deze vorm de afgelopen jaren snel afgenomen.

● In de ontwikkelingslanden in de tropen en de subtropen komt, naast de zelfvoorziening, ook steeds meer commerciële akkerbouw (figuur 3.9) voor zoals op de plantages. Een plantage is een modern en groot landbouwbedrijf, waarbij men gewassen zoals thee, koffie, suikerriet, cacao en fruit teelt voor de export (figuur 3.10 en 3.11). De plantages zijn door de vroegere kolonisten opgericht. Nu worden ze vaak geëxploiteerd door multinationals. Ondanks dat het moderne bedrijven zijn, werken er relatief veel arbeiders. Naast deze plantages zijn in deze gebieden op dit moment veel grote landbouwbedrijven in opkomst. Zij kopen op grote schaal grond op van kleine boeren of kappen een deel van het oerwoud. Dan worden soja, palmen voor palmolie, en andere biobrandstofgewassen geplant. De teelt is grootschalig, modern en gericht op de export.

Ananasplantages

Ananas wordt in warme gebieden geteeld. Het mag niet kouder worden dan 18 °C (dan worden de vruchten zuur), maar ook niet warmer dan 35 °C (dan worden de vruchten waterig zoet). De bodem moet zandig tot lemig zijn zonder steentjes. Regen gedurende het hele jaar, aangevuld met water uit bevloeiingskanaaltjes stimuleert de groei. De planten worden vermeerderd; ploegen, eggen en bemesten is nodig om het veld gereed te maken. Del Monte, een van de grootste fruittelers in de Filipijnen, bezit veel ananasplantages, waarvan de grootste 9.000 ha is! Plantmachines kunnen in een dag 5.000 plantjes in de grond zetten. Voor deze monocultuur is bemesting en het gebruik van pesticiden nodig. Er worden ook middelen gebruikt om de bloeitijd te synchroniseren. Een deel van de oogst is bestemd voor de export en een deel wordt in het land zelf verkocht. Duizenden arbeiders werken op de plantage en in de dozenfabrieken. Naast scholen, ziekenhuis, opleidingscentrum en golfbaan beschikt de plantage ook over een vliegveld.

Figuur 3.10 Ananas op de Filipijnen.





Figuur 3.11 A: oogst van koffie; B: oogst van ananas.

Droge gebieden

● In de aride zone van de Afrikaanse en Aziatische steppen vind je nomadische veeteelt (figuur 3.9). De grond is te droog voor intensieve vormen van akkerbouw. Er groeit zelfs te weinig gras om grote kuddes van voedsel te voorzien. Daarom trekken de herders met hun schapen of kamelen van het ene naar het andere gebied op zoek naar gras en water. In sommige gebieden verblijven de herders met hun kuddes meestal op de koelere, hoger gelegen berggebieden, en in de winter in de warmere laaglanden. In de woestijnen is het droge klimaat een te grote belemmering voor alle mogelijkheden van landbouw.

● In de V.S. en in Zuid-Amerika zijn ook steppegebieden en hoog gelegen gebieden waar commerciële extensieve veeteelt voorkomt. In de drogere en koudere gebieden is de kwaliteit van het gras niet hoog genoeg voor veel stuks vee op een klein oppervlak. De grond is goedkoop, dus de aankoop van uitgestrekte landerijen is geen probleem. Zo zijn er grote ranches ontstaan met duizenden hectare land waar enorme aantallen slachtvee voor de nationale en internationale markt gefokt worden. De boeren hebben moderne fokprogramma's en beweidingsystemen en doen ook zelf onderzoek. Afzet en transport zijn goed geregeld.

Gematigde zone

● In de gematigde zones liggen – afhankelijk van temperatuur, neerslag, bodem en bevolkingsdichtheid – gebieden met intensieve veeteelt en commerciële akkerbouw (figuur 3.9). Slechts een klein deel van de beroepsbevolking werkt in de landbouw, maar de productie per hectare en per persoon is erg hoog. De landbouwsector in deze gebieden is opgenomen in de internationale economie.

■ Bekijk je dit gebied gedetailleerder, dan zie je een lappendeken aan bedrijfstypen (figuur 3.12). De productie is vaak grootschalig en gemechaniseerd. Boeren zijn commerciële ondernemers die gebruikmaken van moderne machines, kunstmest en pesticiden, en fokprogramma's voor vee. Op deze manier kunnen de beperkingen die de natuur oplegt, voor een deel omzeild worden. In kassen kun je gewassen telen die eigenlijk in een warmer klimaat thuishoren. Op minder humusrijke bodems wordt elk jaar kunstmest gebruikt. Door toepassing van irrigatiewerken voorkom je ongewenste droge periodes. Met biotechnologie en kweekprogramma's voor zaden kun je gewassen telen die resistent zijn tegen ziekten of goed

Vorm van landbouw	Gewassen/veeteelt	Klimaat
mediterrane landbouw	citrusvruchten, olijven, wijnbouw en graan	mediterraan klimaat
commerciële graanbouw	tarwe, rijst en maïs	steppe- en landklimaten
gemengde bedrijven	granen, suikerbieten, maïs, groenten en vormen van intensieve veeteelt	zee- en landklimaat
intensieve commerciële veeteelt	kippen, varkens, melkkoeien en slachtvee in stallen	gematigd zee- en landklimaat
tuinbouw in kassen	tomaten, paprika's, groenten en bloemen	zeeklimaat en landklimaat
tuinbouw in volle grond	fruit, groenten en bloembollen	zeeklimaat en landklimaat

Figuur 3.12 Vormen van landbouw in de gematigde zone.

groeien bij een bepaald klimaat. Dankzij de internationale handel kunnen boeren honderden varkens of kippen in stallen zetten (figuur 3.13) en veevoer uit andere landen laten komen. Ze vergroten op deze wijze de mogelijkheden voor de landbouw, en ze zijn minder afhankelijk van de natuurlijke potenties.

■ Dit alles heeft wel zijn prijs. Bij te veel pesticiden raakt de landbouwgrond vervuild. In Nederland is het probleem van het mestoverschot bekend. Veevoer voor honderden varkens en kippen in stallen is makkelijk te importeren, maar de mest van het vee ben je niet zomaar kwijt. Te veel dieren in te kleine ruimtes kan ook het welzijn van de dieren aantasten, terwijl ziektes dan makkelijk overdraagbaar zijn. Door de handel van vee door heel Europa kon de ziekte MKZ bij koeien zich eind vorige eeuw makkelijk verspreiden. Bij monoculturen van gewassen kunnen kevers en schimmels de planten op grote schaal aantasten.

Boreale en polaire zone

● Nog noordelijker, in de boreale en polaire zone, is soms nomadische veeteelt mogelijk, maar in veel gebieden is het te koud voor akkerbouw (figuur 3.9). Wel worden de taiga's in Rusland en de dennenbossen in Noord-Amerika op grote schaal voor de houtproductie gebruikt.



Figuur 3.13 Bio-industrie.

Afhankelijk van de natuur?

▶ Uit bovenstaande beschrijving van de landbouwzones blijkt dat er soms een nauwe relatie tussen de klimaatzones, de bodems en de mogelijkheden voor de landbouw bestaat. Maar steeds meer bedrijven proberen de natuur voor een deel naar hun hand te zetten. Het belang van de zelfvoorzienende landbouw is wereldwijd flink afgenomen. Dit komt mede door de globalisering van de economie. Met nieuwe zaden, moderne technieken en landhervormingen wordt de productie verhoogd en richt men zich op de export (figuur 3.14). Maar dit neemt niet weg dat de natuurlijke omgeving voor grote groepen boeren in met name Afrika nog voor een groot deel bepalend is voor de landbouwmogelijkheden.



Jarenlang waren de V.S. de ongeslagen winnaars van de mondiale landbouw. Maar nu hebben ze in Brazilië een concurrent die snel inloopt. Soja is het paradepaard. Nederland is, vanwege de Rotterdamse haven, de belangrijkste importeur van de Braziliaanse soja. Tussen 2002 en 2010 nam de productie in Brazilië toe van 43 naar 68,5 miljoen ton. In de V.S. groeide de productie van 75 naar 91 miljoen ton. Brazilië produceert betere soja tegen lagere kosten. De soja werd met name in het ontgonnen gebied van de Amazone in de staten Pará en Mato Grosso tussen Santarém en Cuiabá geteeld. Je vindt er kleine boeren die hun hoofd net boven water kunnen houden, en grote boeren die enorme stukken bos kappen en beplanten (de grootste sojaboer heeft 120.000 ha soja ingeplant!). De Amerikaanse graanmultinational Cargill heeft in de haven van Santarém aan de Amazone een zeer grote terminal gebouwd waar in 2009 1 miljoen ton soja werd overgeslagen. Het maakt de stad tot de poort van de Braziliaanse graanschuur. Dit trok weer vele nieuwe boeren aan. Sinds 2006 hebben boeren, milieubeschermers en Cargill (onder druk van onder andere de afnemers in Europa) afgesproken dat er geen nieuw oerwoud meer gekapt wordt. Alle bedrijven moeten gemiddeld 80% van hun grond met bos bedekt laten staan. Dit wordt ook gecontroleerd aan de hand van satellietopnamen. Brazilië heeft alleen één groot probleem: het transport. Een groot deel van de weg in Pará is nog niet geasfalteerd. Zodra dit wel het geval is, zou dit de sojaboeren heel veel opleveren.

Figuur 3.14 Brazilië is kampioen soja produceren.



3.3 Natuurrampen en milieurampen

Oprukkende woestijn

Chinezen planten gras in het zand van de oprukkende Mu Us woestijn. Door verkeerde landbouwmethoden treedt hier op grote schaal verwoestijning op. In de maanden maart en april zorgen enorme stofstormen uit Binnen-Mongolië en de Gobi woestijn ervoor dat duizenden tonnen zand over China en zelfs Japan worden geblazen. Miljoenen mensen ondervinden hiervan hinder. Boeren proberen het zand hier vast te leggen met deze gridvormige aanplant van gras.

Het evenwicht verstoord

▶ Zoals je al eerder hebt gelezen, bestaat er een dynamisch evenwicht tussen de geofactoren binnen het systeem van een landschap. Maar dat evenwicht tussen lithosfeer, atmosfeer, biosfeer en hydrosfeer kan ook zo verstoord worden dat het uit balans raakt. Dan worden landschappen aangetast en kan de natuur extra gevaar opleveren voor de mens.

● Is de natuur zelf oorzaak van de verstoring en worden er veel slachtoffers gemaakt of wordt er veel schade aangericht, dan spreek je van een natuurramp. Zo heeft een tsunami in oktober 2010 ten minste 450 doden veroorzaakt en honderden huizen weggespoeld op de Mentawai-eilanden (figuur 3.15). De oorzaak was een aardbeving onder de oceaan, vlak voor de kust van Sumatra. Tien minuten later werd de eilandengroep overspoeld door een drie meter hoge vloedgolf. In diezelfde tijd werd Indonesië door nog een natuurramp getroffen. De vulkaan de Merapi op Java barstte uit. Daarbij waren ten minste 40 doden te betreuren. In de directe omgeving werd het landschap bedekt met een dikke laag as en puin. In beide gebieden is het natuurlandschap zodanig aangetast dat het evenwicht volledig is verstoord. De vegetatie is weggeslagen door de golven of bedekt en verschroeid door de as. Het zal een hele tijd duren voordat het oorspronkelijke landschap is hersteld.

● Het komt ook voor dat de mens de natuur zodanig verstoort dat er rampen optreden. Dan verdwijnen ecosystemen of ondervinden landschappen grote schade. Soms vallen er zelfs

> natuurramp



Figuur 3.15 Bewoners van de Mentawai-eilanden rouwen om het verlies van hun familie door de tsunami.

slachtoffers. Zoals je in de inleiding van deze paragraaf hebt kunnen lezen, kon de woestijn in Noord-China zich uitbreiden door verkeerde landbouwtechnieken in de nabij gelegen aride gebieden. De hevige stofstormen veroorzaken vervolgens schade aan gewassen in andere streken, en zijn bovendien ook schadelijk voor de gezondheid van mensen. Dit type ramp heet een milieuramp. Meestal is zo'n milieuramp een geleidelijk proces. Een bodem kan bijvoorbeeld na jarenlang gebruik door de akkerbouw zo uitgeput zijn dat zo'n gebied niet meer bruikbaar is voor de landbouw.

● Soms is het moeilijk om de twee soorten rampen te onderscheiden. Wanneer in een berggebied door extreme weersomstandigheden heel veel sneeuw valt en daardoor onverwacht een lawine wordt veroorzaakt die onder aan de berg een dorpje verwoest, is dit een natuurramp. Maar het kan ook zo zijn dat men daar voor de aanleg van skipistes bossen heeft gekapt. De door extreme sneeuwval veroorzaakte lawine heeft dan extra vrij spel gekregen op de kale hellingen en kon juist daardoor dat dorpje bereiken. Dan is het een combinatie van natuurramp en milieuramp.

Milieurampen

▶ In deze paragraaf worden verschillende typen milieurampen besproken. Je leest eerst hoe door aantasting van de atmosfeer gevaren kunnen ontstaan voor de mens. Vervolgens wordt de directe aantasting van de landschappen onder de loep genomen.

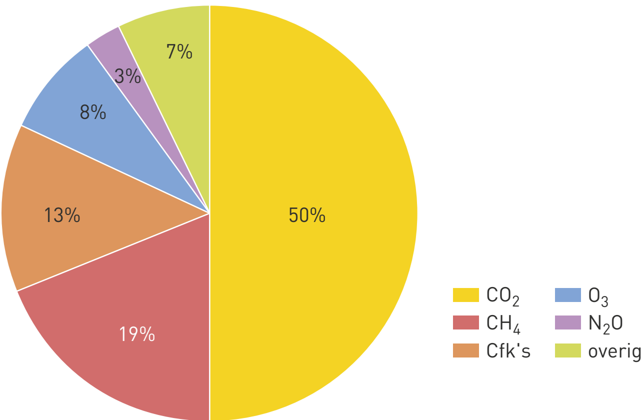
Ozonlaag

▶ In paragraaf 2.1 heb je gelezen dat de ozon in de stratosfeer ons beschermt tegen schadelijke ultraviolette straling. Sinds de jaren zestig van de vorige eeuw werden door de industrie schadelijke stoffen in de atmosfeer gebracht die de ozonlaag afbraken. Het gaat daarbij om cfk's: stoffen die gebruikt werden in de koelvloeistof van koelkasten, in piepschuim en als drijfgassen in spuitbussen. Deze cfk's, ook wel halonen genoemd, breken de ozonmoleculen hoog in de atmosfeer af. Dit gebeurt met name in de koude gebieden bij de polen. In Australië kan door de aantasting van de ozonlaag een teveel aan uv-straling de aarde bereiken. Dit levert gevaar op voor de gezondheid. Je kunt er huidkanker of oogaandoeningen van krijgen of een verminderde weerstand tegen infecties. Bovendien leidt te veel uv-straling tot afnemende landbouwopbrengsten. Sinds 1987 is het gebruik van cfk's in een groot aantal landen verboden, maar ze blijven nog jaren in de atmosfeer voordat ze afgebroken zijn.

> milieuramp
> aantasting van de ozonlaag

De aarde wordt warmer

▶ Sinds het begin van de industriële revolutie in de negentiende eeuw is het gehalte aan kooldioxide in de atmosfeer door de verbranding van fossiele brandstoffen als steenkool, aardolie en aardgas flink toegenomen. Ook de uitstoot van andere gassen, zoals O_3, CH_4 en N_2O, hebben geleid tot een toename van het broeikaseffect (figuur 3.16). De verwachte temperatuurstijging als gevolg van de toename van deze gassen door activiteiten van de mens wordt het versterkte broeikaseffect genoemd. Men verwacht dat hierdoor in de nabije toekomst klimaatveranderingen zullen plaatsvinden.



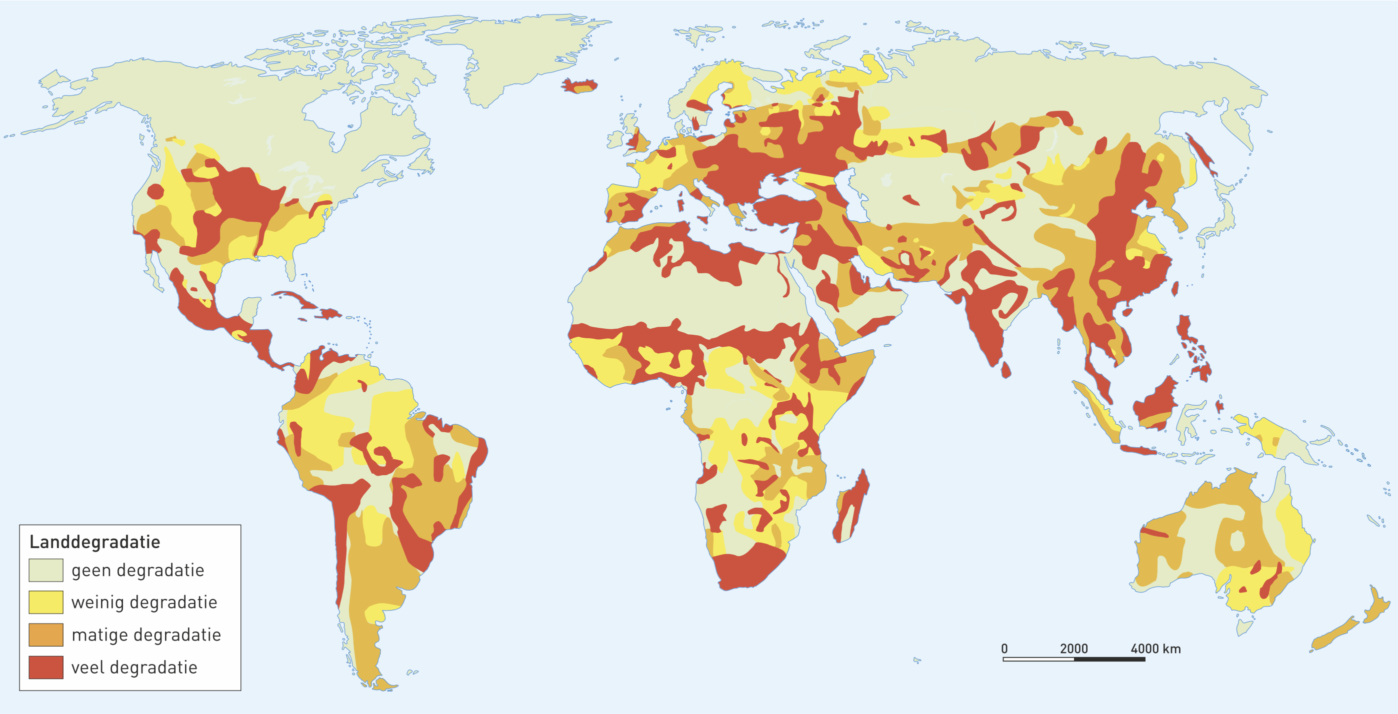
Figuur 3.16 Broeikasgassen in percentages van de totale uitstoot van broeikasgassen door de mens.

Opschuiving van klimaatzones

● Bij een toename van de gemiddelde wereldtemperatuur met 1 °C zullen de klimaatzones 200 tot 300 km naar het noorden opschuiven. In de bergen schuiven ze 150 tot 200 m omhoog. Wanneer de zones te snel opschuiven, zal de migratie van bepaalde plantensoorten achterblijven, waardoor zij uiteindelijk verdwijnen. Het opschuiven van de klimaatzones heeft direct gevolgen voor de landbouw: in een flink aantal gebieden zal de productiviteit lager worden.

● Het zeewater zal door de toegenomen warmte meer gaan uitzetten en kleine ijskappen zullen gaan smelten. Dit leidt tot

> versterkt broeikaseffect
> klimaatveranderingen



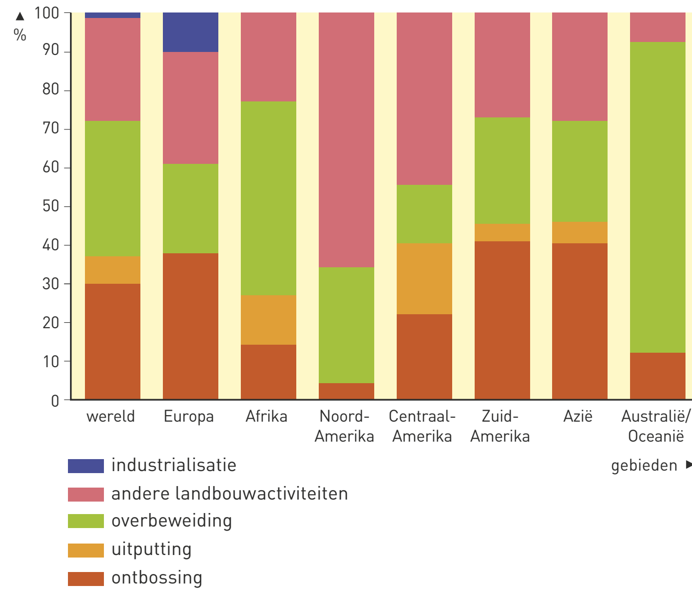
Figuur 3.17 Landdegradatie in de wereld.

een zeespiegelstijging van 9 tot 88 cm in een eeuw tijd. Laaggelegen kustgebieden, zoals in Bangladesh, zullen door de zee tot ver landinwaarts overstroomd worden.
Dit zijn maar twee mogelijke gevolgen.

Aantasting van landschappen

▶ Je zou kunnen zeggen dat de landschappen door het versterkte broeikaseffect op een indirecte manier door de mens worden beïnvloed. Maar wij zijn ook in staat om het landschap op een heel directe manier aan te tasten. Dit gebeurt bij landdegradatie. Bij dit proces neemt de kwaliteit van het vegetatiedek en de bodem af ten gevolge van een te intensief of verkeerd gebruik door de mens en het vee (figuur 3.17).
Deze afname in kwaliteit kan verschillende oorzaken hebben, zoals ontbossing, overbeweiding, onjuiste landbouwmethoden, verdroging of overbevolking. In figuur 3.18 zie je hoe groot de afname in kwaliteit van de bodems is per werelddeel, verdeeld over de verschillende oorzaken. Je moet daarbij wel bedenken dat het heel moeilijk is om aan te geven wat onder een gedegradeerde bodem wordt verstaan. Daarom kun je in wetenschappelijke publicaties andere percentages tegenkomen.

> landdegradatie



Figuur 3.18 Oorzaken en relatieve grootte van de afname van de bodemkwaliteit per werelddeel.

▶ Van het totale oppervlak heeft Europa het hoogste aandeel in de gedegradeerde landoppervlakten. Dit heeft te maken met het feit dat veel natuurgrond is omgezet in cultuurgrond en veel bossen zijn gekapt om plaats te maken voor infrastructuur en steden. In Noord-Amerika liggen in het noorden uitgestrekte toendragebieden die ongeschikt zijn voor de landbouw en minder geschikt voor bewoning en die dus met rust worden

gelaten. In Azië is de ontbossing het grootste probleem, terwijl in Afrika met name de overbeweiding voor degradatie van de bodems zorgt. In Noord-Amerika is veel bodemdegradatie veroorzaakt door verkeerde landbouwmethoden. Een aantal gevolgen van de landdegradatie gaan we gedetailleerder bekijken, namelijk bodemerosie, verwoestijning en verzilting.

De bodem verdwijnt

▶ In Noord-Amerika en in de tropen kapt men de bossen voor de houtproductie of voor het ontginnen van nieuwe landbouwgronden. In de V.S. en Europa worden steppes afgebrand of omgeploegd. Bij al dit soort activiteiten komt de verweringslaag bloot te liggen. Deze toplaag van de bodem die belangrijk is voor de plantengroei, kan – afhankelijk van het klimaat – vervolgens verdwijnen door wind of water. Dit proces wordt bodemerosie genoemd.

● In droge gebieden kan de wind vat krijgen op de losse bodemdeeltjes. Als het stormt, worden honderden tonnen fijn stof en kleine bodemdeeltjes hoog de lucht in geblazen en honderden kilometers verderop op andere plekken op het continent of in de zee neergelegd. Zo zijn in de jaren dertig van de vorige eeuw bijvoorbeeld duizenden tonnen vruchtbare lössbodems van de prairies in de V.S. verdwenen tijdens de beruchte Dust Bowl.

● In vochtige klimaten spoelt heftige regenval de van vegetatie ontdane bodem weg. Hoe steiler de hellingen, hoe sterker dit effect zal zijn (figuur 3.19).



Figuur 3.19 Bodemerosie door water.

> bodemerosie

● Het verlies van de toplaag van de bodem is een groot probleem voor de landbouw. De productiecapaciteit wordt daardoor minder. Dit verschijnsel heet bodemdegradatie. Ieder jaar verdwijnt door water- en winderosie 55.000 miljoen ton aan toplagen van de bodem. In een gebied waar je door bodemerosie een kale zandbodem overhoudt, kun je niets verbouwen. Het kan dan honderd tot vijfhonderd jaar duren voordat de structuur en de eigenschappen van een redelijke, zandige bodem van enkele centimeters zijn hersteld.

Verwoestijning

▶ Haal je in kwetsbare, droge gebieden de vegetatie weg, dan verstoor je de waterhuishouding, droogt de bodem uit en wordt de bovenlaag hard. De geringe hoeveelheden regen kunnen niet meer infiltreren en vloeien over het oppervlak weg.
Wordt de bodem door deze onaangepaste methoden van akkerbouw en veeteelt zodanig aangetast dat gebieden veranderen in woestijnachtige milieus, dan heb je te maken met verwoestijning. Dit proces wordt ook wel desertificatie genoemd. De ernstigste vormen van desertificatie vond je rond de jaren zeventig van de vorige eeuw in de Sahel, in Afrika. Overbeweiding wordt vaak genoemd als hoofdoorzaak. Maar daar liggen veel complexere situaties aan ten grondslag. Regelmatig kampt men in deze kwetsbare gebieden met ernstige droogten, steeds terugkerende hongersnoden en een toename van de bevolking en de veestapel. Daardoor verliest men de oude tradities voor goede landbouwmethoden in dit soort omstandigheden uit het oog. De hoge bevolkingsgroei leidt tot gebruik van gronden die nauwelijks geschikt zijn voor de eigen voedselproductie. De betere gronden zijn vaak in gebruik voor exportproducten.

Verzilting

Een derde vorm van landdegradatie is verzilting. Dit verschijnsel komt voor in gebieden waar veel wordt geïrrigeerd. Slechts een deel van het irrigatiewater wordt door de planten opgenomen. Het overgrote deel zakt in de bodem naar het grondwater. Gaat dit proces jaren door, dan stijgt de grondwaterspiegel. Op een gegeven moment bereikt de grondwaterspiegel het niveau waarbij capillaire opstijging het water naar de oppervlakte kan

> bodemdegradatie
> verwoestijning
> verzilting



Figuur 3.20 Gevolgen van verzilting in West-Australië.

brengen. Opgeloste zouten worden zo naar de oppervlakte vervoerd. Het water verdampt en de zouten slaan neer. De meeste voedselgewassen zijn niet bestand tegen deze verzilting. Je verwacht dit proces in droge en semiaride gebieden, zoals in de Sahel en Australië. Maar ook in de koelere, droge gebieden van de V.S. en in West-Azië, het stroomgebied van de Eufraat en zelfs in de vochtige subtropen van India en Pakistan worden grote landbouwgebieden aangetast door verzilting. De enige manier om dit proces tegen te gaan, is goed draineren, het overvloedige water snel afvoeren, of de toepassing van druppelirrigatie.

Duurzame landbouw

▶ Bij al deze vormen van landdegradatie verstoort de mens het dynamische evenwicht in een landschap. In economisch kwetsbare gebieden, zoals de ontwikkelingslanden, is het moeilijker om deze verstoringen te voorkomen. Maar ook in de V.S. en in Europa worden de bodem en de vegetatie op grote schaal ernstig verstoord. Speelde vroeger onwetendheid over de effecten van bepaalde landbouwmethoden een rol, tegenwoordig kan men zich daar – zeker in het rijke westen – niet meer achter verschuilen. Zowel in rijke als in arme landen staan economische kortetermijnbelangen het voorkomen van landdegradatie soms in de weg. Op dit moment beseft men in de wereld echter steeds meer dat de bodem een waardevolle productiefactor is. Daar waar dit besef doordringt, probeert men het proces van degradatie met maatregelen stop te zetten.

Dat kan met duurzaam landgebruik. Daarbij worden de natuurlijke hulpbronnen zodanig gebruikt dat men tegemoetkomt aan de behoeften van deze tijd, zonder dat de behoeften voor de komende generaties in het gedrang komen. Dat betekent dat je ervoor moet zorgen dat de bodem niet wegspoelt of wegwaait. Je kunt dit proberen te bereiken met grootschalige projecten. Maar ook door de kennis en betrokkenheid van individuele boeren te steunen, kan heel wat bereikt worden (figuur 3.21).

Snelle uitputting

Andreas Chileno Rocha droomde van een nieuwe start toen hij vanuit de overbevolkte berggebieden van de Andes naar het laaggelegen gebied ten oosten van Santa Cruz trok. De overheid bood 30 tot 50 ha land aan en een boerderij. Maar hij merkte dat de bodem al binnen een paar jaar na het kappen van het oerwoud was uitgeput. Hij moest telkens een nieuw stuk oerwoud schoonkappen.
Hij was gewend tarwe en maïs te verbouwen, maar moest hier rijst en cassave planten. En elke keer als de grond weer opnieuw in productie werd genomen, werd de bodem slechter. Na een paar jaar was het gebied alleen nog geschikt voor gras. Zijn problemen zijn typerend voor de duizenden boeren die naar de oerwouden van Bolivia, Peru en Brazilië trokken. Ze hebben geen geld voor kunstmest en laten een spoor van uitgeputte bodems in het gekapte oerwoud achter.

Oplossingen

Nu is in het gebied bij Santa Cruz een project gestart voor deze boeren. Doel is om de bodem op vaste percelen grond vruchtbaar te houden. Er worden allerlei methoden bedacht. Zo worden permanente gewassen als fruitbomen en bomen voor houtkap geplant, en verbouwt men groenten om de stikstof weer terug in de grond te krijgen. Afwisseling van de verbouw van rijst en bonen vergroot ook de vruchtbaarheid van de bodem. Kortom, men moedigt de boeren aan verschillende dingen uit te proberen. Want kant-en-klare oplossingen werken niet. Verschillende oplossingen werken voor verschillende boeren. Nu werkt 80% van de boeren in het gebied met nieuwe methoden en volgens een plan. De inkomsten verbeteren en de grond raakt minder gedegradeerd.

Figuur 3.21 Duurzame landbouw in Bolivia.

> duurzaam landgebruik





3.4 Inschatting van natuurlijke gevaren

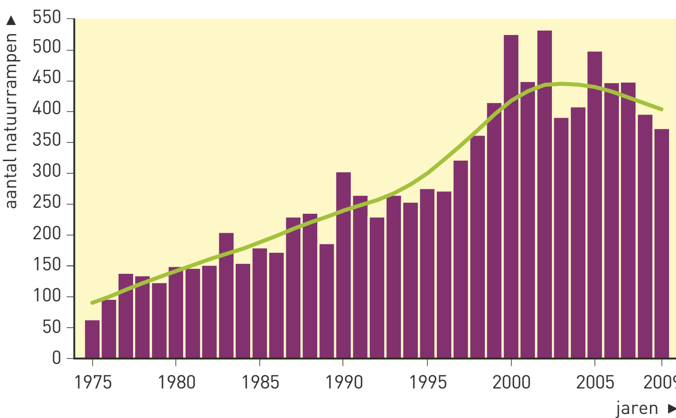
Geen teken van hogerhand

Mbah Maridjan was de sleutelbewaarde van de vulkaan de Merapi op Java. Hij werd geacht bovennatuurlijke gaven te bezitten en te voorvoelen wanneer de vulkaan zou uitbarsten. Hij weigerde in oktober 2010, toen de vulkaan dreigde uit te barsten, zijn huis op de helling van de vulkaan te verlaten. Hij had nog geen teken ontvangen. De berg had nog niet tot hem gesproken. Helaas is de uitbarsting hem fataal geworden. Reddingwerkers vonden hem in bidhouding onder een laag as.

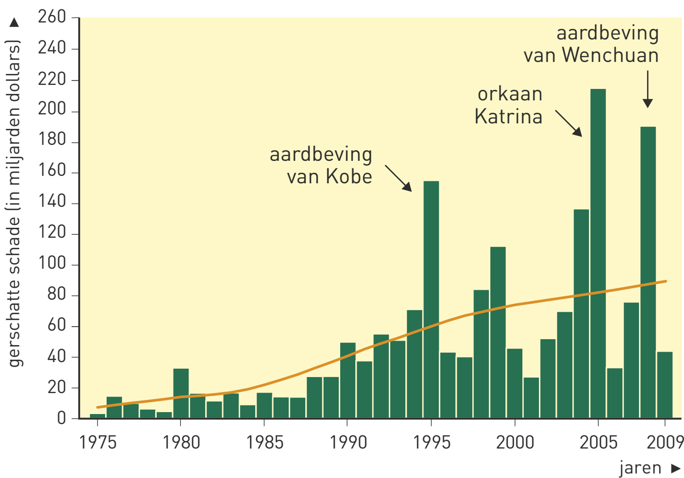
Hulpeloos bij natuurrampen?

▶ De gebieden waar milieurampen (kunnen) voorkomen, zijn tegenwoordig in grote delen van de wereld in kaart gebracht. Als de wil (en het geld) aanwezig is, zou men deze problemen in principe kunnen doen verminderen. In gebieden waar boeren de grond door verkeerde landbouwmethoden uitputten, kan dit proces stopgezet worden met duurzaam landbouwbeleid. Het voorkomen van natuurrampen is niet altijd mogelijk. Ze zijn vaak niet nauwkeurig te voorspellen, laat staan dat men kan verhinderen dat ze plaatsvinden. Het gaat om endogene en exogene krachten die je niet kunt tegenhouden. Tussen 1975 en 2002 steeg het aantal natuurrampen (figuur 3.22). Enerzijds heeft dit te maken met een nauwkeuriger registratie, anderzijds met het feit dat kwetsbare gebieden steeds dichter bevolkt raken, waardoor de gevolgen voor de mensen ernstiger zijn dan vroeger. De laatste jaren neemt het aantal rampen iets af. Aardbevingen, orkanen, vulkaanuitbarstingen, overstromingen, lawines, droogte, tornado's, tsunami's en stormen hebben jaarlijks een enorme impact op vele mensen op aarde. Er zijn regelmatig veel doden te betreuren en de getroffen gebieden ondervinden grote economische schade (figuur 3.23). De schade varieert sterk per jaar. De mens staat niet helemaal hulpeloos tegenover dit soort rampen. Afhankelijk van het type ramp kan hij anticiperen en de gevolgen daarmee misschien enigszins beperken.

● Tegenwoordig volgen meteorologen een orkaan via satellietbeelden zodra die zich op de oceaan heeft gevormd. De richting van de baan van de orkaan kan, met bepaalde onzekerheidsmarges, berekend worden. In de kustgebieden die gevaar lopen, moeten de mensen vervolgens geëvacueerd worden. Dit zijn, zeker in dichtbevolkte gebieden, enorme operaties. Miljoenen mensen uit een gebied halen kost tijd én geld. Enerzijds zal men willen wachten tot de wetenschappers echt zeker weten waar zo'n orkaan aan land komt, anderzijds kan te lang wachten mensenlevens kosten.



Figuur 3.22 Aantal natuurrampen tussen 1975 en 2009.



Figuur 3.23 Geschatte economische schade van natuurrampen tussen 1975 en 2009.

● Vulkaanuitbarstingen zijn nooit precies te voorspellen. Verschillende vulkanen die een gevaar kunnen vormen, worden zeer nauwkeurig in de gaten gehouden. Maar de onzekerheidsmarges bij het voorspellen van een uitbarsting zijn veel groter dan bij een orkaan. In mei 2006 werden de mensen in de directe omgeving van de vulkaan de Merapi op Java verschillende keren geëvacueerd. En elke keer was het, achteraf bezien, niet nodig. Dan verliest men het vertrouwen in de autoriteiten. Maar in de herfst van 2010 was het wel raak en stierven ruim honderdtwintig mensen tijdens de uitbarsting.

● Aardbevingen zijn nog moeilijker te voorspellen. Men weet welke gebieden gevoelig zijn voor dit type natuurramp. San Francisco, bijvoorbeeld, ligt dicht in de buurt van de San Andreas breuk. Er vinden zeer regelmatig kleine aardbevingen plaats. Men verwacht dat binnen niet al te lange tijd weer een zware aardbeving, zoals die van 1906, zal plaatsvinden. Het is echter niet te zeggen of dit binnen vijf, tien of dertig jaar zal zijn. In Haïti had al 250 jaar geen aardbeving meer plaatsgevonden. Wetenschappers hadden in 2008 voorspeld dat er binnen afzienbare tijd een beving met een kracht van 7.2 zou komen. Ook hier wist men niet zeker binnen welke tijd. Maar ze kregen gelijk: in januari 2010 trof een aardbeving met een kracht van 7.0 dit gebied en vielen er naar schatting 230.000 doden.

Maatregelen

▶ In sommige gebieden die kwetsbaar zijn voor natuurrampen, heeft de overheid plannen gemaakt en maatregelen genomen om de effecten te beperken. Ook probeert men de natuurrampen te beheersen of, indien mogelijk, zelfs te voorspellen. Al deze maatregelen vallen onder het begrip hazard management. Daardoor wordt een gevoel van veiligheid en bescherming gecreëerd. Er zijn verschillende soorten plannen en maatregelen om natuurrampen en de nadelige effecten ervan zo veel mogelijk te beheersen. Maar ze kosten geld. En de vraag is dan of arme landen de maatregelen zouden kunnen betalen.

● *Onderzoekstechnieken en modellen*: Op welke manier verlopen aardbevingen, vulkaanuitbarstingen en orkanen? Door welke factoren wordt de hevigheid van zo'n natuurramp bepaald? Hoe krijgen we meer inzicht in de processen die te maken hebben met mondiale bewegingen van aardkorstplaten? Er wordt uitgebreid onderzoek gedaan om antwoorden te vinden op deze vragen. Hierbij wordt gebruikgemaakt van allerlei computermodellen. Het doel is om te kunnen voorspellen waar en wanneer bijvoorbeeld aardbevingen en vulkaanuitbarstingen zullen voorkomen en hoe krachtig ze kunnen zijn. Men maakt vervolgens risicokaarten van de hele omgeving, waarbij aangegeven wordt welk gebied direct of indirect gevaar loopt voor bepaalde gevolgen. Op grond daarvan kan men dan evacuatieplannen maken.

● *Waarschuwingssystemen*: Het is belangrijk een acuut dreigende aardbeving zo snel mogelijk te signaleren en de bevolking tijdig te waarschuwen. In Japan zijn diverse plannen en maatregelen ontwikkeld om mensen tijdig te waarschuwen of in veiligheid te brengen. De evacuatie van mensen uit gebouwen wordt bijvoorbeeld geoefend in zeer realistisch nagebootste situaties. De spoorlijnen kennen een geautomatiseerd beveiligingssysteem: een computer die lichte trillingen registreert, zet treinen automatisch stil. In veel ontwikkelingslanden zijn dergelijke dure systemen niet aanwezig en kan door onachtzaamheid of bureaucratie een enorme ramp optreden.

● *Rampenplannen*: Er zijn hele draaiboeken ontwikkeld om de hulpverlening na een aardbeving op gang te brengen. Op de Filipijnen staan in een aantal wijken bulldozers die alleen in actie komen bij een aardbeving. Ze moeten de wegen vrijhouden van ingestorte huizen en ander puin, zodat hulpdiensten het rampgebied kunnen bereiken. In zo'n rampenplan staat ook waar evacuatiecentra kunnen worden ingericht en

> hazard management

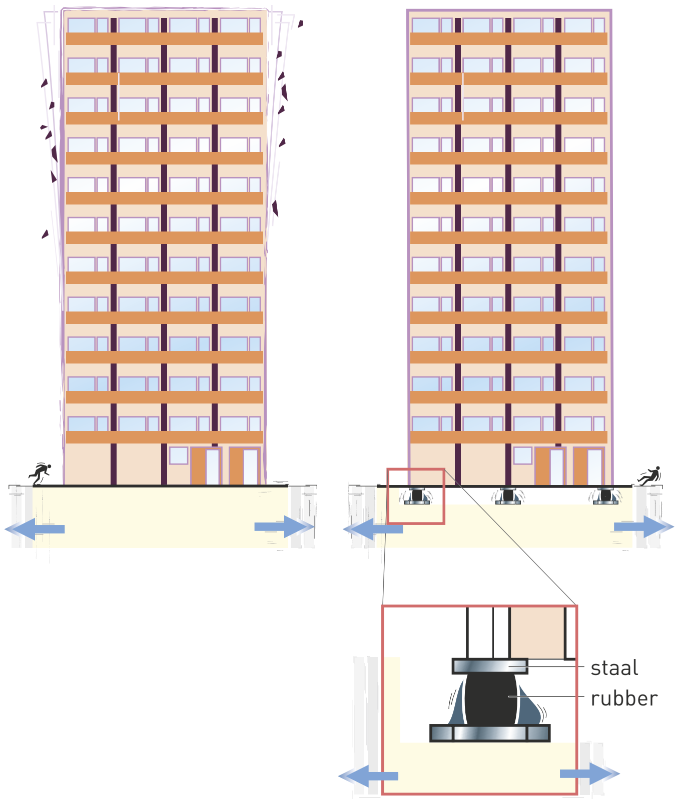


Een orkaan is een natuurramp die blindelings toeslaat. Maar Katrina heeft de Amerikanen duidelijk gemaakt waar de breukvlakken tussen arm en rijk in hun samenleving liggen. De aanblik van ronddobberende doden, plunderaars die vechten om voedsel en mensenmassa's die wanhopig weg proberen te komen, was al aangrijpend op zich. Maar veel Afro-Amerikanen waren woedend omdat de mensen die klem zaten, in overgrote meerderheid zwart en arm waren. Tweederde van New Orleans is zwart en een kwart van de stadsbevolking leeft in armoede. Veel mensen van deze groep hadden geen auto of geld voor de busreis om op tijd weg te komen. Voor hen bestond geen reddingsplan. Zij die de stad niet op eigen kracht konden verlaten, moesten naar het Superdome stadion komen. Daar verbleven ten tijde van de orkaan minstens 25.000 mensen. 50.000 tot 100.000 mensen verbleven nog elders in de stad. Door dijkdoorbraken overstroomde 80% van de stad.
In het stadion was niet genoeg water en eten voor de arme, overwegend zwarte gemeenschap, terwijl het er boven de 30 °C was. Hulp voor de hongerige mensen bleef dagenlang uit. De evacuatie kwam tergend langzaam op gang. Openbaar vervoer is er nauwelijks in de V.S. en daarom waren er te weinig bussen beschikbaar om de evacuatie grootschalig aan te pakken.
Het zijn dus de armen die in gevaar verkeren.

Figuur 3.24 Katrina geselde arme zwarten.

hoe de daklozen aan voedsel en onderdak komen. Toch kan zo'n evacuatieplan tekortschieten, zelfs in een rijk land als de V.S. Dit bleek bij de orkaan Katrina (figuur 3.24). De plannen die gericht zijn op de wederopbouw van beschadigde gebouwen, infrastructuur en openbare voorzieningen, horen ook bij het rampenplan.

- *Bouwtechnische maatregelen*: Met bouwtechnische maatregelen kunnen de nadelige effecten van een aardbeving verminderd worden. Zo zijn er in Japan gebouwen met rubberen funderingen om trillingen op te vangen (figuur 3.25). Er wordt geprobeerd om te bouwen met lichte en minder makkelijk brandbare constructiematerialen, in plaats van beton. Er zijn gebouwen met computergestuurde tegengewichten die de trillingen van een aardbeving compenseren, zodat de gebouwen niet heftig heen en weer bewegen.
- *Verzekeringen tegen natuurrampen*: Voor de bouw van gebouwen in aardbevingsgevoelige gebieden zijn verzekeringen tegen dit soort natuurrampen vaak verplicht. Veel banken en verzekeringsmaatschappijen in landen als Japan, Nieuw-Zeeland en de V.S. hebben een aparte afdeling die de risico's van natuurrampen in bepaalde gebieden inschat. Zij adviseren bedrijven om zich daartegen voldoende te verzekeren. Dit zal echter nooit alle schade kunnen dekken (figuur 3.26).



Figuur 3.25 Aardbevingbestendig bouwen.

Verzekeraars touwtrekken

De schade-experts van de Amerikaanse verzekeraars wacht een ontzagwekkende taak: het in kaart brengen van de schade van orkaan Katrina in augustus 2005. Er is een schatting gemaakt van $ 26 miljard dollar. En dit is dan alleen nog maar de schade die verzekerd is. Veel van de ravage die de wervelstorm heeft aangericht, is niet gedekt. Opstal- en inboedelverzekeringen bieden wel dekking tegen stormschade, maar niet tegen overstromingen. Dat moet apart bijverzekerd worden. Slechts vier op de tien huishoudens in de regio New Orleans hebben zich verzekerd tegen de gevolgen van overstromingen. Het zal een enorm getouwtrek worden over de vraag wat de oorzaak is geweest van de schade: de wind of het water van de overstroming.

Figuur 3.26 Katrina dreunt na bij verzekeraars.

Houding van de bewoners

▶ Waarom blijven mensen in gebieden wonen waar de kans op natuurrampen groot is?

Dit heeft te maken met de houding van mensen ten opzichte van natuurrampen. Het blijkt voor de bewoners van een risicovol gebied vaak moeilijk om hun gedragspatroon aan te passen aan de dreigende natuurlijke omstandigheden. Dit heeft te maken met je beeld, je perceptie, van het risico dat je loopt. Is de kans om getroffen te worden door een natuurramp groot of valt het wel mee? Sommige mensen weten niet hoe ze een goede afweging moeten maken, anderen willen het helemaal niet weten. Op allerlei manieren proberen mensen de dreiging van natuurrampen uit de weg te gaan.

- Soms wordt de dreiging ontkend: 'Het kan overal gebeuren,' en 'Sinds ik hier woon, is er nog nooit wat gebeurd.' Of ze geloven niet in een herhaling van een ooit voorgekomen natuurramp: 'Het zou wel toevallig zijn als dat hier nog een keer gebeurde,' en 'Het was een gril van de natuur.'
- Soms probeert men vat te krijgen op natuurrampen door naar regelmatigheden te zoeken: 'Elke 30 jaar vindt hier wel zo'n aardbeving plaats.' Of men ziet natuurrampen als een lot dat wordt bepaald of beheerst door een hogere macht: 'Het is in de handen van God.' Is de herhalingsperiode vrij lang, dan voelt men zich algauw veilig.
- Soms wegen de inwoners de voordelen van het wonen in het gebied af tegen de nadelen van natuurrampen. Zij doen dit op grond van directe (op korte termijn), indirecte (op lange termijn), zichtbare en minder zichtbare effecten en rationele of religieuze interpretaties van natuurrampen (figuur 3.27).
- Soms heeft men geen keuze. Wanneer je geen geld hebt om een gevaarlijk gebied te verlaten en te migreren naar een minder kwetsbaar gebied, moet je wel blijven zitten.

> risico
> herhalingsperiode

Sleutelbewaarder Merapi

Veel dorpelingen weigerden in mei 2006 te evacueren van de hellingen van de Merapi-vulkaan op Java ondanks waarschuwingen van de overheid en geleerden dat de vulkaan op uitbarsten zou staan. De dorpelingen bereidden voedseloffers voor en hielden traditionele voorstellingen – met Javaanse dansen – om de geesten van de vulkaan gunstig te stemmen. De overheid werd vooral tegengewerkt door een spiritueel leider, Maridjan, die weigerde te vertrekken.

'Er is geen risico,' zei Maridjan tegen de pers voor zijn huis, slechts 6 km van de top van de vulkaan. 'Ik wacht nog altijd hier.' De inmiddels overleden sultan van Yogyakarta gaf Maridjan de officiële titel 'sleutelbewaarder tot de Merapi-vulkaan'. Door deze speciale positie werd van hem verwacht dat hij de geesten in de gaten zou houden die boven op de berg leven. Wanneer je de berg niet verstoort en de geesten niet kwaad maakt, hebben de bewoners niets te vrezen, meende hij. Maridjan zei dat hij niet zou vertrekken tenzij hij een signaal van de overleden sultan zou ontvangen.
In 2006 had hij gelijk. Maar in 2010 is het misgegaan en vond hij met 32 anderen de dood tijdens een nieuwe uitbarsting, zoals je in de inleiding van deze paragraaf hebt kunnen lezen.

De vulkaan bleef actief. Gedurende de eerste twee weken van november 2010 werden de uitbarstingen steeds heftiger. Steeds meer mensen sloegen op de vlucht of lieten zich nu wel evacueren. Grotere gebieden werden ontruimd. Toch kwamen er minstens 120 mensen om. Vulkanologen durfden niet meer te voorspellen hoe lang de uitbarstingen nog zouden duren en hoe heftig ze zouden zijn.

Figuur 3.27 De sleutelbewaarder van de Merapi.

Begrippen hoofdstuk 3

Aantasting van de ozonlaag 74
Beschadiging van de ozonlaag door het gebruik van schadelijke gassen.

Aride zone 66
Zone met droge klimaten.

Bodem 64
Bovenste 1 à 2 m van de grond waaruit planten het grootste deel van hun voedingsstoffen halen.

Bodemdegradatie 76
Kwaliteitsverlies van de toplaag van de bodem.

Bodemerosie 76
Het snel verdwijnen van de voor plantengroei belangrijke verweringsgrond, meestal als gevolg van menselijke activiteiten.

Boreale zone 66
Overgangsgebied tussen de gematigde en de polaire zone op de continenten, dus op het noordelijk halfrond.

Duurzaam landgebruik 77
Natuurlijke hulpbronnen zodanig gebruiken dat men tegemoetkomt aan de behoeften van deze tijd, zonder dat de behoeften voor de komende generaties in het gedrang komen.

Gematigde zone 65
Gordels tussen de subtropische en de boreale zone (tussen 30 en 55° N.B. en Z.B.).

Geofactoren 63
Factoren die de elementen vormen van de verschillende ecosystemen op aarde.

Hazard management 79
Het omgaan met de risico's van een natuurramp.

Herhalingsperiode 81
Tijd tussen twee rampen (met dezelfde oorzaak) in een bepaald gebied.

Klimaatveranderingen 74
Wijzigingen in het klimaat door menselijke dan wel natuurlijke oorzaken.

Landdegradatie 75
Aantasting van het landschap, meestal door menselijke activiteiten.

Milieuramp 74
Verstoring van de natuur door de mens, waardoor zich een ramp met slachtoffers en financiële schade voordoet.

Natuurramp 73
Ramp veroorzaakt door de natuur, met veel slachtoffers en grote schade.

Polaire zone 66
Gordels tussen de poolcirkel en de polen.

Risico 81
Kans waaraan enig gevaar verbonden is.

Subtropische zone 65
Zone tussen de tropen en de gematigde breedte (tussen 20 en 30° N.B. en Z.B.).

Tropische zone 64
Zone gelegen tussen 10° N.B. en 10° Z.B.

Versterkt broeikaseffect 74
Versterkte toename van de temperatuur in de dampkring als gevolg van de uitstoot van broeikasgassen door de mens.

Verwoestijning 76
Uitbreiding van de woestijn, veroorzaakt door de verkeerde toepassing van landbouw, soms gecombineerd met klimaatvariaties. Heet ook wel desertificatie.

Verzilting 76
Proces waarbij zich in de bodem steeds meer zouten ophopen.



4 Verder kijken dan de costa's CE



Griekenland Toerisme als bestaansmiddel

De witte huisjes van het dorpje Fira op het Griekse eiland Santorini lijken tegen de steile helling geplakt te zijn. Tussen de huisjes liggen hotels met dakterrassen. Het mooie dorp trekt vele toeristen, net als een groot deel van het Middellandse Zeegebied. Maar liefst 30% van het totaal aantal toeristen op aarde brengt bij de Middellandse Zee de vakantie door, aangetrokken door het mooie zomerweer. Maar je vindt er meer dan strand, zee en disco's. Fira ligt aan de binnenrand van een grote vulkanische caldeira. Lang geleden is deze caldeira in zee gevormd bij een zeer explosieve uitbarsting. In de verte zie je een deel van de Nea Kameni, een jongere, actieve vulkaan in de grote, oude caldeira. De steile hellingen op deze eilanden geven enerzijds prachtige uitzichten over de zee, maar leveren ook gevaar op voor landslides. Ze zijn ook moeilijk te gebruiken voor de akkerbouw. Toerisme is dan voor veel jongeren een beter bestaansmiddel. Maar waar haal je dan in dit vrij droge klimaat goed drinkwater vandaan voor de groeiende stroom bezoekers?



4.1 Kennismaken met het Middellandse Zeegebied

Stromboli

In februari 2007 was er een uitbarsting van de 926 meter hoge Stromboli vulkaan op het gelijknamige eiland bij Zuid-Italië. Uit twee kraters stroomde lava de helling af. Bij het contact van de hete lava met het koude zeewater ontstonden twee rookpluimen. Het kleine dorpje Ginostra, gelegen op de flank van de vulkaan, hoefde niet ontruimd te worden. Deze vulkaan is een van de actiefste vulkanen van het Middellandse Zeegebied, maar niet de gevaarlijkste.

Ligging en topografie

▶ Het Middellandse Zeegebied is in veel opzichten een uniek gebied. Het is het overgangsgebied tussen Azië, Europa en Afrika. Maar liefst 21 landen grenzen aan de Middellandse Zee.

● De Middellandse Zee is de grootste binnenzee ter wereld. Vanaf de Straat van Gibraltar in het westen tot aan Syrië in het oosten is het zo'n 3.800 km lang. Op twee plaatsen is de zee toegankelijk: vanaf de Atlantische Oceaan via de Straat van Gibraltar en vanuit de Rode Zee via het Suezkanaal in Egypte. Bovendien is er via de Bosporus nog toegang tot de Zwarte Zee. De Middellandse Zee zelf bestaat uit een aantal bekkens, zoals de Adriatische Zee, de Tyrrheense Zee en de Egeïsche Zee. Het zeewater heeft unieke eigenschappen waar we in paragraaf 4.2 op terugkomen.

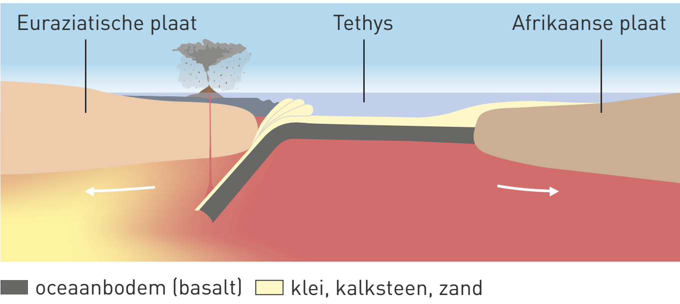
● Het landschap in de omringende landen is zeer gevarieerd. Er is veel reliëf; denk daarbij aan de heuvels met olijfboomgaarden, cipressen of sinaasappelbomen. De kusten van de Middellandse Zee zijn vaak steil, zoals je kunt zien op de foto's van de inleidingen van dit hoofdstuk en deze paragraaf. Er zijn relatief weinig uitgestrekte stranden, maar wel veel eilanden, schiereilanden, baaien en kapen.
Behalve actieve vulkanen, zoals de Stromboli, komen in het Middellandse Zeegebied ook veel aardbevingen voor. We bekijken eerst de geologie van dit gebied.

Op de grenzen van platen

▶ Het Middellandse Zeegebied ligt, geologisch gezien, grofweg op de grens van twee grote continentale platen: de Afrikaanse plaat en de Euraziatische plaat. In dit gebied zijn door de plaatbewegingen verschillende kleine platen afgesplitst van de twee grote platen. Ze hebben elk hun eigen bewegingsrichting en maken de geologie in dit gebied zeer complex.

Ontstaan en verdwijning van de Tethyszee

▶ Het ontstaan van het Middellandse Zeegebied begon aan het einde van het Paleozoïcum toen alle huidige continenten één supercontinent, Pangea genaamd, vormden (GB 193A1). Het Euraziatische continent was door middel van het Iberisch schiereiland, Italië en de westelijke rand van de Balkan verbonden met het Afrikaanse continent. Op de grens van Trias en Jura (180

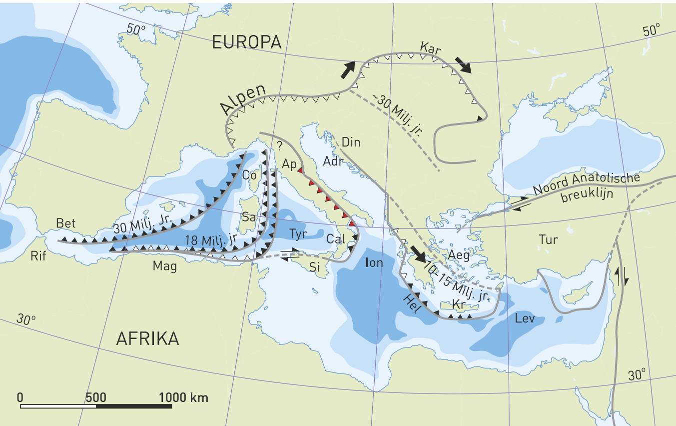


Figuur 4.1 Gedurende Jura en Krijt lag de Tethyszee tussen de Euraziatische en de Afrikaanse plaat. Op het oceanische basalt werden klei en kalk gesedimenteerd.

miljoen jaar geleden) brak het supercontinent in tweeën en kwam Afrika los van Europa (GB 193A2). Er ontstond een zee, de Tethyszee. Bij de divergente breuklijn, op de mid-oceanische rug in de Tethyszee, vormde het gestolde magma een nieuwe oceaanbodem van basalt. Zo breidde de Tethyszee zich steeds meer uit gedurende Jura, Krijt en het begin van het Tertiair. Op de oceaanbodem werd klei, die door de rivieren naar zee werd vervoerd, en kalk van vele schelpdieren gesedimenteerd (figuur 4.1). Langs de randen groeiden koraalriffen en langs de kust werd door de rivieren zand afgezet. Onder druk werden al deze lagen verhard tot gesteenten.



Figuur 4.2 De beweging van Afrika ten opzichte van Europa en Azië sinds 120 miljoen jaar geleden in stappen van 20 miljoen jaar.
NB Zuid-Europa is in deze tijd eigenlijk ook sterk van vorm veranderd.

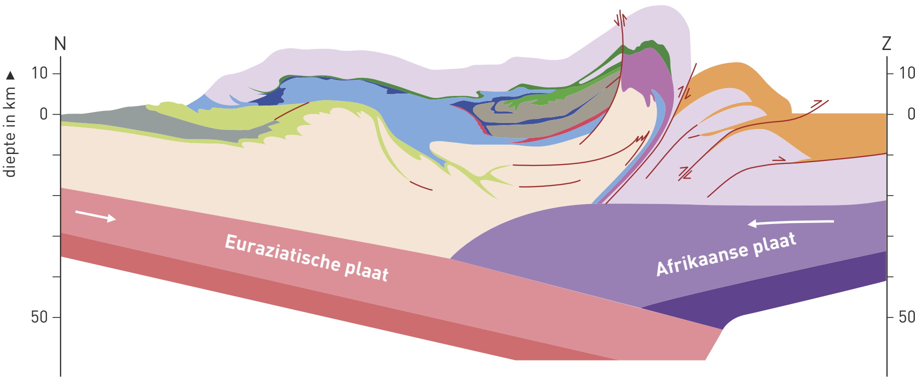


- dieper dan 2,5 km
- 2,5 tot 1,0 km
- ondieper dan 1,0 km
- er wordt aangenomen dat de subductie hier continu plaatsvindt
- er wordt aangenomen dat hier scheiding van platen heeft plaatsgevonden
- scheiding van platen kan hier recentelijk plaatsgevonden hebben
- gebergtevorming van de Alpen is bekend en algemeen geaccepteerd

Figuur 4.3 Subductiezones in het Middellandse Zeegebied tussen 30 en 15 miljoen jaar geleden.

● Vanaf het Krijt schoof Afrika weer noordwaarts. De Tethyszee werd door de convergente plaatbeweging weer kleiner (figuur 4.2). Door druk splitsten verschillende microplaten zich af met eigen bewegingen. Op figuur 4.3 is goed te zien dat er én in het noorden (bij de huidige Alpen), én in het zuiden van het Middellandse Zeegebied subductiezones waren. In het zuiden duikt de Afrikaanse plaat onder de zuidkant van de Euraziatische plaat. In het noorden dook de Europese plaat met een stuk van de Tethyszee onder de Afrikaanse plaat, waarbij de Tethyszee langzaam verdween. Dit proces ging door totdat de twee continenten in de loop van het Tertiair tegen elkaar botsten. De plaat met het huidige Italië, vroeger onderdeel van Afrika, stuitte tegen de oude bergmassieven van de Spaanse Meseta en Zuid-Duitsland. Aan de randen werden de gesteenten geplooid en schoven grote stukken van de Apulische plaat en de Iberische plaat (afgebroken van de Afrikaanse plaat) over Europa (figuur 4.4). Soms schoven deze gesteenten wel honderden kilometers naar het noorden. Zo ontstond het Alpiene plooiingsgebied met de Pyreneeën, de Karpaten en de Alpen. Uiteindelijk was de Tethyszee tussen Europa en Afrika geheel verdwenen.

> Alpien plooiingsgebied



Vanaf het Tertiair bewegen de platen naar elkaar toe. De gesteenten worden geplooid waarbij niet alleen het basalt en de kalk- en kleilagen over de Euraziatische plaat schuiven, maar ook delen van het Afrikaanse continent. Je kunt nog zien dat een deel van de Europese plaat voor die tijd onder Afrika schoof, totdat de oceaan was verdwenen.

Figuur 4.4 De vorming van een gebergte door botsing van twee continenten.

Tektoniek in de Egeïsche Zee

▶ Tussen Griekenland en Libië ligt ook een subductiezone, de Helleense boog (figuur 4.3). Afrika beweegt hier 1 cm per jaar naar het noorden, terwijl de Egeïsche plaat met een snelheid van 4 cm per jaar naar het zuiden opschuift. Bij de convergente breukzone bij Kreta vindt subductie plaats volgens het zogenoemde 'roll-back'-principe (figuur 4.5A). De Afrikaanse plaat duikt onder de Egeïsche plaat. Bij die breukzone bestaat dit gedeelte van de Afrikaanse plaat uit een oceanische bodem. Die zware oceanische plaat zakt door de 'valbeweging' bij de subductie steeds eerder weg. Dus in de tijd dat de oceanische korst van de Afrikaanse plaat beweegt van A naar A1, beweegt het knikpunt van de subductie van punt B naar B1. Door deze verplaatsing ontstaat ruimte voor de Egeïsche plaat en wordt continentale korst meegetrokken van punt C naar C1 (figuur 4.5B). Op deze manier wordt de continentale plaat uitgerekt en wordt hij dunner en kan onder water verdwijnen en/of breken. Door het uitrekken van de continentale plaat ontstaat er een bekken, de Egeïsche Zee (tot wel 3.400 m diep).

● Als diep in de mantel stukken van de subducerende plaat afbreken, kan het bovengelegen deel omhoogkomen (figuur 4.5C). Op deze manier verplaatst het gebied waar subductie plaatsvindt, zich naar het zuiden totdat Kreta tegen Libië aan komt te liggen (figuur 4.3).

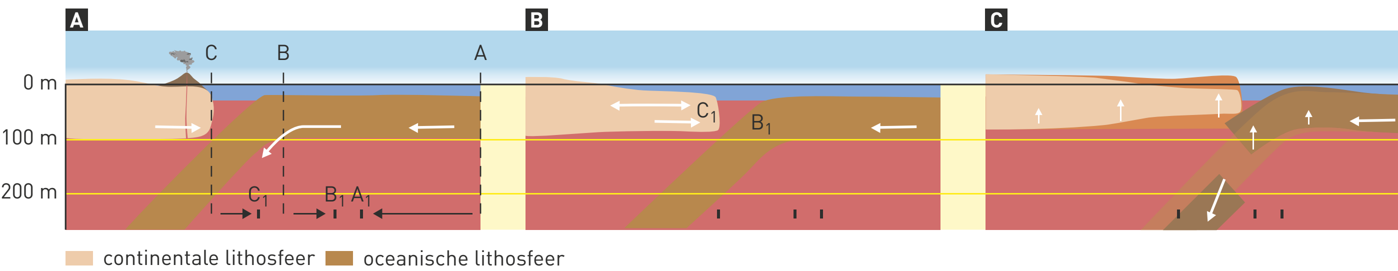
■ Op dezelfde wijze is de Tyrrheense Zee ontstaan.

● Je weet dat bij subductiezones vulkanen kunnen ontstaan. Bij het opschuiven van de subductiezone naar het zuiden, kunnen zo telkens nieuwe vulkaanbogen ontstaan. Dit verklaart ook de ligging van de vele eilanden in de Egeïsche Zee. Een daarvan is Thira, ook wel bekend als Santorini. Hier ligt een vulkaan die in lang vervlogen tijden bij verschillende explosieve erupties grote caldeira's heeft gevormd.

Het Arabische blok

▶ In het noordoosten van de Afrikaanse plaat ontstond 20 miljoen jaar geleden een groot aantal breuken. De belangrijkste breuk vormde zich 10 miljoen jaar geleden. Daarbij werden de Rode Zee en de Golf van Aden gevormd. Op de afgebroken plaat ligt het Arabische schiereiland. Sindsdien heeft de Arabische plaat zich 450 km noordwaarts verlegd. De Rode Zee wordt steeds breder. Daarbij botste het Arabische blok op Turkije en Iran. Bij deze botsing ontstonden van west naar oost de volgende plooiingsgebergten: het Taurusgebergte in Turkije, het bergland van Kurdistan in Zuid-Turkije en Noord-Irak en het Zagrosgebergte en Kuhrudgebergte in Iran (figuur 4.6).

● Deze verplaatsing van het Arabische blok ging niet zonder slag of stoot. Turkije, Griekenland, Bulgarije en een deel van voormalig Joegoslavië lagen namelijk op dat moment ten noorden van dit blok en dus veel oostelijker dan tegenwoordig. Turkije lag op de plek van het huidige Irak en Syrië. Bij de noordwaartse beweging van het Arabische blok konden de Anatolische plaat en de Egeïsche plaat (GB 126A) nog maar naar een kant geschoven worden: naar het westen. Deze westwaartse verplaatsing is tot op heden aan de gang (figuur 4.7). De verplaatsing gaat langs twee breuken: de noordelijke breuk loopt dicht langs de kust van de Zwarte Zee en wordt de Anatolische breuk genoemd. De zuidelijke breuk loopt zuidwestwaarts en verdwijnt aan de kust van Sicilië in zee.



continentale lithosfeer   oceanische lithosfeer

Figuur 4.5 Het 'roll-back'-principe bij subductie in de Middellandse Zee.

> bekken



gebergteketens
richting van de beweging van het Saudi-Arabische blok en Turkije

Figuur 4.6 De bewegingen van het Arabische blok en Turkije.

Tegenwoordig beweegt Turkije zich met een snelheid van 5 à 6 cm per jaar in westelijke richting. Met enige regelmaat vinden er zware aardbevingen plaats in dit gebied. Denk aan de aardbeving bij Izmit.

Aardbevingen

▶ Langs alle actieve breukzones in het Middellandse Zeegebied kunnen zware en minder zware aardbevingen voorkomen. Italië, Griekenland en Turkije hebben het meest te maken met deze catastrofale gebeurtenissen.



Figuur 4.7 De positie van Griekenland en Turkije 18 miljoen jaar geleden (A) en nu (B).



4.2 Klimaat en plantengroei

Wakeboarden op het San Marcoplein

Over het anders zo toeristisch drukke San Marcoplein in Venetië (Italië) scheerde in december 2008 Duncan Zuur op zijn wakeboard over het water. Met behulp van een lier en een kabel van 120 meter kon de Nederlander deze stunt uithalen ten overstaan van de verbaasde Italianen. Op het beroemde plein stond, na zeer hevige regenval, namelijk een halve meter water. Zo hoog had het waterpeil in deze mediterrane stad in geen twintig jaar gestaan.

Klimaat

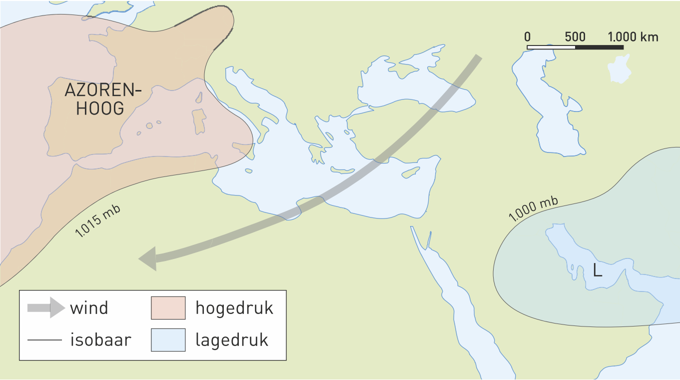
▶ Misschien heb je in de opdracht in de Oriëntatie op dit hoofdstuk het Middellandse Zeeklimaat als criterium genoemd bij de afbakening van het Middellandse Zeegebied. Dit Cs-klimaat – met warme, droge zomers en gematigde, neerslagrijke winters – komt hier inderdaad in grote gebieden voor. Het is onderdeel van de subtropische zone. Daarnaast vind je in het zuidoosten van Spanje, in de omgeving van Almería, een droog klimaat (BS). De landen ten zuiden van de Middellandse Zee hebben, iets verder landinwaarts, een woestijnklimaat (BW). Het EH-klimaat komt plaatselijk voor waar het hoog genoeg is, zoals in de Alpen, de Sierra Nevada en in de Pyreneeën in Spanje.

● Zowel het Middellandse Zeeklimaat als de droge klimaten kunnen voor het grootste deel verklaard worden met behulp van de grote druk- en windsystemen.
Zoals je in paragraaf 2.2 hebt geleerd, verplaatst de loodrechte stand van de zon zich tussen de keerkringen. Het gevolg is dat het tropisch minimum, de ITC, in juli ten noorden van de evenaar ligt en in december ten zuiden van de evenaar. Boven de continenten schuift de ITC in juli noordelijker ten opzichte van de evenaar dan boven de oceanen. Door het opschuiven van de ITC verschuift ook de ligging van de hogedrukgebieden en de nog noordelijker gelegen gebieden met westenwinden. Ze liggen in de zomer ongeveer 10° verder van de evenaar dan in de winter.

Afwisseling van zomer en winter

● In de zomer, in juli, ligt boven de Sahara door de opwarming een lageluchtdrukgebied. De zee warmt niet zo snel op. Op de Atlantische Oceaan ligt op de breedte van het Middellandse Zeegebied een hogeluchtdrukgebied, met uitlopers over Marokko en Spanje tot aan Italië. Dit gebied wordt het Azoren-Hoog genoemd (figuur 4.8). De temperatuur van het oppervlaktewater loopt gedurende de zomer geleidelijk op tot 25 à 29 °C. Het land wordt veel warmer. De aanlandige noordoostenwind bij de noordkust van Afrika geeft niet veel bewolking. De lucht boven het land is warmer, en wolken zullen snel oplossen. Er valt daarom weinig neerslag.

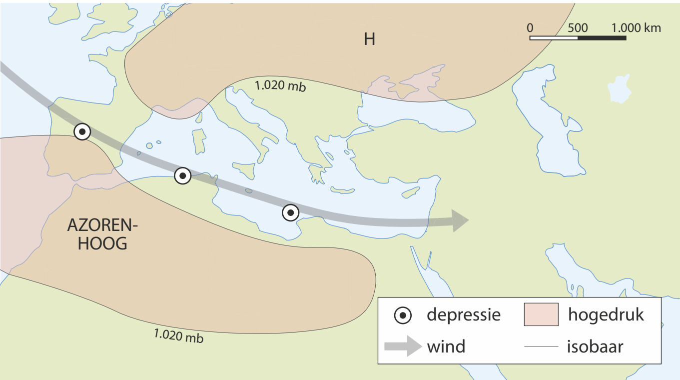
> grote druk- en windsystemen
> Azoren-Hoog



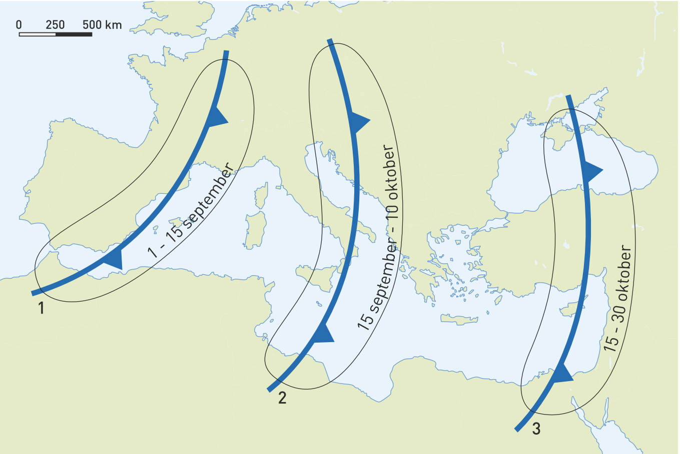
Figuur 4.8 Luchtdruk en winden in juli.

● In de winter ligt het Azoren-Hoog op de Atlantische Oceaan zuidelijker. Het strekt zich nu uit over de Sahara, waar de lucht – die afkomstig is uit de tropen – daalt (figuur 4.9). Vanuit dit hogedrukgebied waait een zuidwestenwind richting Middellandse Zee. Boven het koude continent van Azië, in Siberië, ligt ook een sterk hogedrukgebied. Vanuit het noorden dringt de koude luchtmassa naar het zuiden en komt in het Middellandse Zeegebied in botsing met de warme, subtropische lucht van de Sahara. Het Middellandse Zeegebied koelt niet zo snel af en is dus nog vrij warm. Door de botsing van de twee luchtsoorten in combinatie met de vocht- en warmtebron van de Middellandse Zee, ontstaan de zogenoemde mediterrane lagedrukgebieden of fronten. Meer dan de helft van de fronten in het Middellandse Zeegebied ontwikkelt zich op deze wijze. Ze verplaatsen zich van west naar oost. Ook in het noorden van Algerije, Libië en Egypte valt deze neerslag. De overige depressies zijn ontstaan boven de Atlantische Oceaan en worden door de westenwinden het gebied binnengebracht (figuur 4.9).

● De overgang van het zomer- naar het winterseizoen verloopt zeer snel. De weersomslag begint meestal in september in het westelijke Middellandse Zeegebied. Gedurende vier tot zes



Figuur 4.9 Luchtdruk en winden in januari.



Figuur 4.10 Omslag van het zomer- naar het winterseizoen in het Middellandse Zeegebied.

weken verschuift dit patroon (figuur 4.10). Eind oktober is de seizoenswisseling in het oosten aangekomen.

▶ Het woestijnklimaat tussen de 15 en 30° N.B. staat niet onder invloed van de botsende luchtmassa's. In januari ligt op deze breedtegraad het Azoren-Hoog met dalende en dus droge lucht. In juli waait de wind uit het noordoosten.

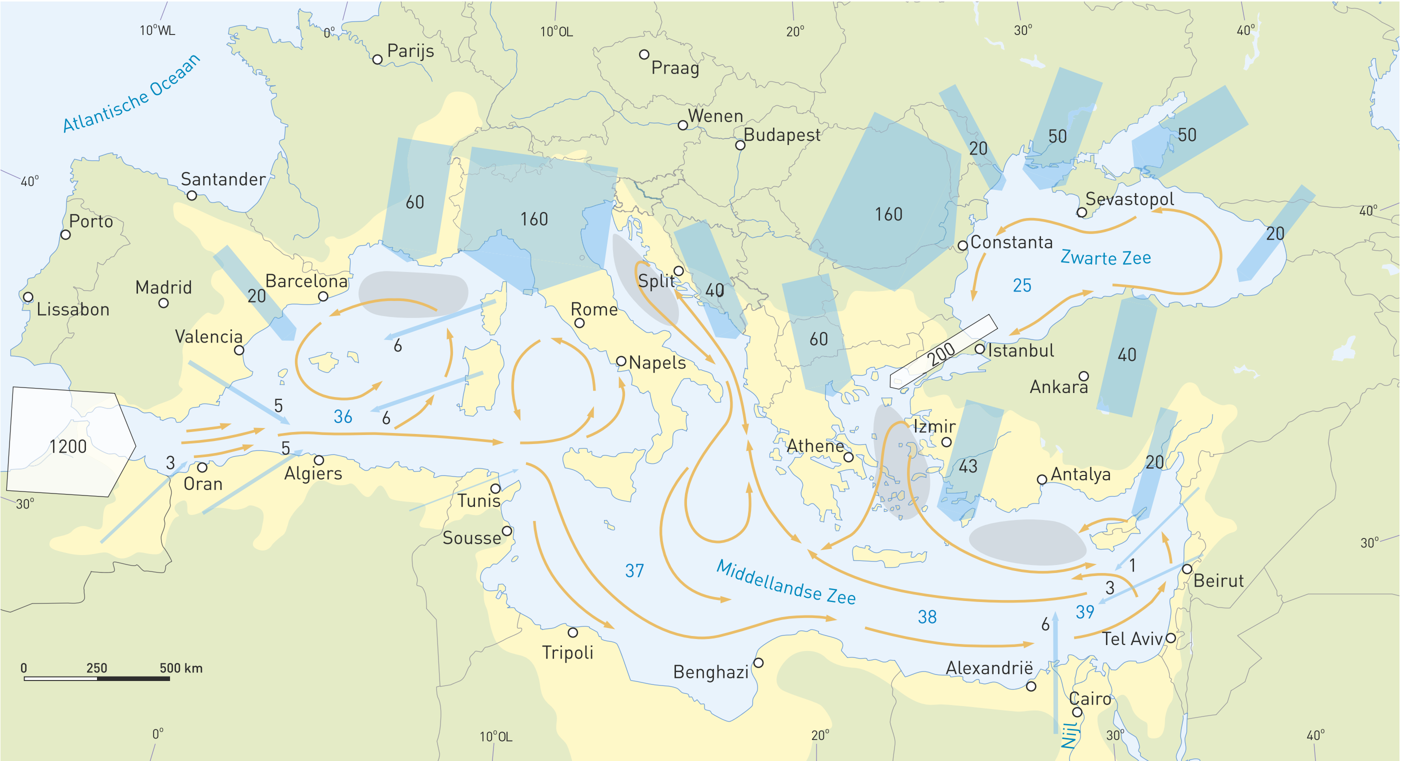
Neerslagkenmerken

▶ Behalve de gemiddelde neerslag en de verdeling van de neerslag over het jaar zijn nog twee neerslagkenmerken van belang, namelijk de neerslagintensiteit en de wisselvalligheid van de neerslag.

● De hoeveelheid neerslag die per uur of per dag valt, wordt de neerslagintensiteit genoemd. Zo viel in december 2008 in Venetië (foto inleiding) in enkele dagen erg veel regen en sneeuw. Grote delen van de stad kwamen blank te staan. Tijdens een stortbui kan de intensiteit zo hoog zijn, dat in enkele uren de helft van de jaarlijkse neerslag valt. Er valt dan zoveel water dat het niet de kans krijgt in de bodem te dringen en dat het over het land afstroomt. Rivieren krijgen hierdoor in korte tijd veel water te verwerken waardoor overstromingen kunnen ontstaan. Bovendien is er een verhoogd risico op bodemerosie.

● De wisselvalligheid van de neerslag blijkt uit het feit dat er in het ene jaar veel meer neerslag valt dan in het andere jaar. In de jaren 2003 en 2005 was de winter veel droger dan normaal. Dit tekort aan water in de winter levert juist in de daarop volgende zomer grote problemen op, omdat er dan een sterke verdamping is. Verdamping kost warmte en zolang er nog

> neerslagintensiteit



Figuur 4.11 Verticale en horizontale stromingen in de Middellandse Zee.

voldoende vocht in de bodem zit, gaat de opwarming minder snel door de verdamping. Als er dan ook nog weinig water in de bodem zit, leidt dit snel tot grote droogte. De uitgedroogde bodem leidt tot een verdere stijging van de temperatuur.

Saliniteit

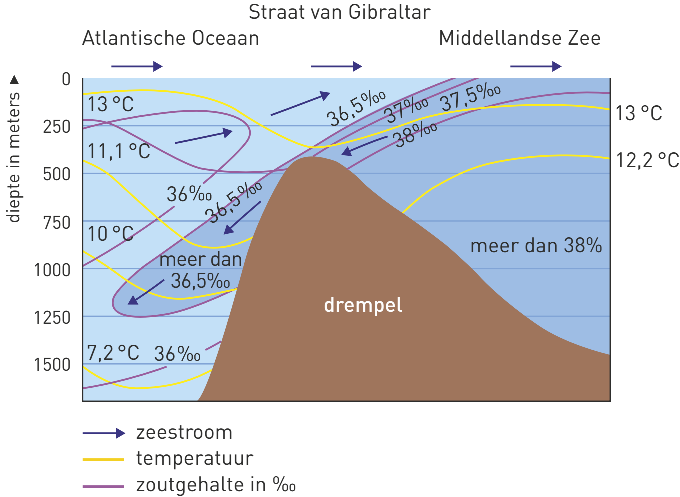
▶ Zowel het klimaat als de vorm van het Middellandse Zeebekken zijn van invloed op de temperatuur en het zoutgehalte (ook wel saliniteit genoemd) van het zeewater. In vergelijking met de Atlantische Oceaan zijn het zoutgehalte en de watertemperatuur hoger en zijn de zeestromen totaal anders.

● Door de hoge luchttemperatuur in de zomer, is de watertemperatuur van de Middellandse Zee ongeveer 5 °C hoger dan de temperatuur van wateren op dezelfde breedte. Vooral in het oostelijke deel van de Middellandse Zee is de verdamping daardoor erg hoog. Het verlies door verdamping is groter dan de aanvoer van rivier- en regenwater. Via de Bosporus komt water binnen vanuit de Zwarte Zee. De slechts 14 km brede en 320 m diepe doorgang bij de Straat van Gibraltar zorgt voor de meeste watertoevoer uit de Atlantische Oceaan. Daar ligt in het water een drempel die de doorstroming in deze toch al nauwe zeestraat belemmert. Het zeewater stroomt in de richting van het Balearenbekken en de Tyrrheense Zee, langs de Noord-Afrikaanse kust en komt dan via verscheidene stromen in de verschillende bekkens terecht. Het stromende water wordt naar het oosten toe langzaamaan steeds warmer en verdampt. Dat resulteert in een toename van het zoutgehalte (figuur 4.11).

● Door de toename van het zoutgehalte van het zeewater, wordt dit water zwaarder (grotere dichtheid) en zakt naar beneden. Het zoutere water stroomt in westelijke richting terug en verlaat de Middellandse Zee via de Straat van Gibraltar (figuur 4.12).

■ De combinatie van de verticale en de horizontale circulatie in het zeewater zorgt voor verschillende flora en fauna in de diverse zeebekkens, zoals de Adriatische Zee, de Tyrrheense Zee en de Egeïsche Zee.

> saliniteit



Figuur 4.12 Zeestromen, watertemperatuur en zoutgehalte in de Straat van Gibraltar.

Natuurlijke plantengroei

▶ Behalve het Cs-klimaat is de oorspronkelijke vegetatie een belangrijke geofactor die het Middellandse Zeegebied tot een eenheid maakt. De vegetatie heeft zich aangepast aan het klimaat. Vooral de neerslag (hoeveelheid en verdeling over het jaar) is van grote invloed op de plantengroei. Bovendien speelt de sterke verdamping een grote rol. De planten groeien en bloeien vooral in het vochtige voorjaar. Tijdens de droge periode sterven veel soorten af en zorgen voor een droog en verdord aanzicht. We bespreken hier drie typen natuurlijke vegetatie.

● Er komt loofbos voor dat het blad niet verliest gedurende de droge periode. Deze bomen en struiken hebben zich door diepe wortels en kleine, leerachtige bladeren aangepast aan de droogte. Soorten zoals de kurkeik en de steeneik kunnen er overleven.

● Daarnaast zijn er bladverliezende struiken die in het voorjaar rijkelijk bloeien en daarna in een 'ruststand' de zomer overleven, zoals de struikheide, buxus, brem en jeneverbes.

● In het Middellandse Zeegebied is tegenwoordig vooral de maquis (figuur 4.13) te vinden. Op plaatsen waar door menselijke activiteiten het bos is verdwenen, staat nu dit – soms manshoge – doornachtige struikgewas. Tussen deze struiken is er ruimte voor bloeiende planten zoals lavendel en rozemarijn.

▶ De olijfboom neemt een geheel eigen plaats in. De bomen zijn vaak geplant als vervanging van het oorspronkelijke bos. Al in 2000 v. Chr. werden de olijven gebruikt voor de productie van olie. De olijfboom kan groeien op plaatsen waar de koudste maand een temperatuur van minimaal 5 °C heeft. Ze kunnen honderden en soms wel meer dan duizend jaar oud worden. De aanwezigheid van de olijfboom wordt ook wel gebruikt als criterium voor de begrenzing van het Middellandse Zeegebied (zie de Oriëntatie bij dit hoofdstuk in je werkboek).



Figuur 4.13 Maquis.



4.3 Wonen en werken

Izmir

Izmir ligt aan de westkust van Turkije aan de Egeïsche Zee. De stad telt bijna 4 miljoen inwoners. Bronnen van 3.500 jaar geleden maken al melding van deze oude stad. Sinds 1960 groeit de metropool snel door de binnenlandse migratie. Het vruchtbare achterland met veel agrarische producten zorgt voor een uitgebreide agro-industrie. Samen met de vele andere industrieproducten worden ze via de gunstig gelegen haven van Izmir geëxporteerd. Elk jaar wordt de stad bezocht door vele binnenlandse en buitenlandse toeristen.

Contrasterende bevolkingsdynamiek

▶ De totale bevolking van het Middellandse Zeegebied is tussen 1950 en 2000 gegroeid van 185 naar 395 miljoen inwoners. Tot 2025 wordt een verdere groei verwacht tot ongeveer 500 miljoen mensen.
De bevolking ontwikkelt zich rond de Middellandse Zee op twee verschillende manieren. In het noordelijke deel zal de bevolking nog slechts een geringe groei doormaken. In het zuiden en oosten daarentegen wordt een vervijfvoudiging van het aantal inwoners verwacht tussen 1950 en 2025.

▶ Om het gebied nauwkeuriger te bestuderen, is het beter om drie regio's te onderscheiden: Zuid-Europa, Noord-Afrika en Turkije en het oostelijke Middellandse Zeegebied (figuur 4.14). Het aantal inwoners in Zuid-Europa stijgt tussen 1950 en 2025 van 113 miljoen naar 144 miljoen. Daarmee zal het aandeel in 2025 gedaald zijn van 60% naar 30%.
Het aandeel van Turkije en het oostelijke Middellandse Zeegebied zal verder stijgen. In 1950 waren er slechts 30 miljoen inwoners. In 2025 zal dit gestegen zijn tot 140 miljoen. Relatief is het aandeel in deze periode van 16% tot 28% gestegen. In Noord-Afrika groeit de bevolking van 42 miljoen (1950) naar 210 miljoen in 2025, waarmee het aandeel stijgt naar 42%.

▶ De bevolkingsdichtheid in de landen rondom de Middellandse Zee is niet overal gelijk. Er zijn gebieden die een dichtheid tot wel 10.000 inwoners per km² bereikt hebben, zoals langs de kust van Italië en Spanje, in de Noord-Afrikaanse oasen, in de Nijldelta, in het dal van de Jordaan en aan de west- en zuidkust van Turkije. Ter vergelijking, Nederland heeft een bevolkingsdichtheid van 397 inwoners per km². Het gaat om gebieden die van oorsprong al dichterbevolkt waren door landbouwactiviteiten. Na de Tweede Wereldoorlog steeg de bevolkingsdichtheid verder door onder meer het uitbannen van malaria. Daarnaast verhuisden veel mensen uit de berg-gebieden naar de kust.

● Sinds 1950 zijn ook steden zoals Bari, Izmir, Istanbul, Barcelona en Marseille gegroeid. De industrialisering en de toegenomen infrastructuur zijn verantwoordelijk voor het gestegen inwonertal. Dat er voor veel binnenlandse migranten niet altijd werk was, kon de toestroom niet doen verminderen. Zo groeide Izmir (inleiding paragraaf) van ruim 400.000 inwoners naar bijna 4 miljoen en Barcelona van 1,6 miljoen naar 3,1 miljoen mensen. In Istanbul wonen nu ruim 16 miljoen mensen, terwijl dat er in 1950 slechts 1 miljoen waren.

● De laatste decennia heeft er opnieuw verdichting plaatsgevonden. Een van de oorzaken is de toename van het toerisme. De tot dan toe ongebruikte stukken grond werden en worden opgevuld met hotels, appartementen en andere toeristische voorzieningen.
Dorpen, landbouw, steden, verkeer en toerisme zijn elkaars concurrenten en strijden om de overgebleven ruimte. De landbouw delft daarbij in de stedelijke gebieden vaak het onderspit.
Deze bevolkingsontwikkelingen hebben ook consequenties voor de handel, de arbeidsmarkt, politieke beslissingen, de verscheidenheid in de samenleving en de ecologische belasting van het gebied.

Regio	Bevolking									
	1950		1970		1990		2000		2025	
	x miljoen	in %	x miljoen	in %	x miljoen	in %	x miljoen	in %	x miljoen	in %
Zuid-Europa[1]	113,6	61,4	133,2	52,6	149,6	43,3	152,4	38,5	144,3	29,3
Noord-Afrika[2]	42,4	22,8	70,1	27,6	114,9	33,2	142,4	36,5	209,4	42,5
Turkije en het oostelijke Middellandse Zeegebied[3]	29,3	15,8	50,2	19,8	81,5	23,5	100,7	25	139,6	28,2
Middellandse Zeegebied	185,3	100	253,5	100	346	100	395,3	100	493,3	100

1 Portugal, Spanje, de regio's Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur en Corsica, Italië, Slovenië, Kroatië, Bosnië-Hercegovina, Servië-Montenegro, Albanië, Griekenland en Malta.
2 Egypte, Libië, Tunesië, Algerije en Marokko.
3 Syrië, Libanon, Israël, Jordanië, Gaza, Cyprus en Turkije.

Figuur 4.14 Bevolkingsontwikkeling in het Middellandse Zeegebied 1950-2025.

Mediterrane akkerbouw

▶ Traditioneel vind je in het Middellandse Zeegebied overwegend akkerbouw. De belangrijkste gewassen zijn graan (tarwe, gerst), olijfbomen en wijngaarden. De akkerbouw is in drie vormen in te delen, elk aangepast aan het klimaat.

● De droge akkerbouw die gedurende het gehele jaar plaatsvindt – het zogenaamde dry farming – komt vooral in de binnenlanden en in gebieden aan de lijzijde van gebergten voor. Bij deze vorm is er sprake van een twee- of driejarige cyclus. Bij de tweejarige cyclus wordt de akker het eerste jaar bebouwd en blijft hij het tweede jaar braak liggen. Bij de driejarige cyclus wordt het braakperceel gedurende het tweede jaar beweid en in het derde jaar bewerkt. De braakliggende grond ontvangt in de tussentijd wel neerslag en slaat deze op als voorraad voor de productieperiode. De grond wordt zodanig geploegd dat het regenwater er gemakkelijk in kan binnendringen.

■ Een nadeel van deze methode is dat er steeds maar op een derde van de oppervlakte daadwerkelijk geoogst kan worden en dat er gedurende de braakligging meer risico op erosie is. Bovendien ontstaat hier seizoenswerkloosheid omdat er alleen werk is in de oogsttijd (mei en juni).

> dry farming

▶ De boom- en struikencultuur neemt veel minder oppervlakte in beslag dan de droge akkerbouw. Het voordeel is dat deze bomen en struiken nog kunnen groeien op plaatsen waar voor de eenjarige akkerbouwgewassen te weinig water is. Ze leveren ook een grotere winst op. Het gaat voornamelijk om olijf- en amandelbomen en wijngaarden, maar er zijn ook walnoot-, johannesbrood-, zwarte moerbei-, granaatappel- en pistachenotenbomen, en hazelnootstruiken. In zeer warme gebieden zoals Zuidoost-Spanje en de Maghreb is ook de dadelpalm te vinden. In de hogere en vochtige gebieden groeien appels, peren, kersen en pruimen.

■ Olijfbomen groeien langzaam. Ze dragen pas vruchten na zeven jaar. Om de olijven te laten rijpen (figuur 4.15), hebben ze een droge, hete zomer nodig, waarna ze in de herfst geoogst kunnen worden. Ze zijn niet gelijk geschikt voor consumptie, maar worden eerst een jaar in een zoutwaterbad gelegd. Een deel van de oogst wordt gebruikt om er olijfolie van te persen.

■ Druiven worden in Griekenland, Spanje en Italië vooral voor wijn gebruikt. In Turkije en Griekenland plukt men druiven van speciale, zeer zoete druivenrassen en droogt ze tot rozijnen. In gebieden waar geen wijn wordt gemaakt of gedronken, worden vooral verse druiven voor directe consumptie geoogst.



Figuur 4.15 Olijfboomgaard.

■ Soms worden er onder bomen akkerbouwgewassen verbouwd.

▶ Bij de derde vorm van akkerbouw proberen boeren iets onafhankelijker te zijn van de neerslag in hun gebied. Ze passen geïrrigeerde akkerbouw toe (figuur 4.16). Deze wijze van akkerbouw is het meest intensief en kan drie tot vijf oogsten per jaar opleveren. Geïrrigeerde akkerbouw vindt vooral plaats in de dalen en aan de kust. Vaak worden er 'gebiedsvreemde', ingevoerde gewassen geteeld, zoals perziken, abrikozen en citrusfruit. Zelfs worden er tropische en subtropische planten, zoals katoen, rijst en pinda's, en groenten, zoals aubergine, paprika en tomaten, geoogst.











Figuur 4.16 A t/m E Irrigatie wordt op verschillende manieren uitgevoerd.

Veeteelt

▶ De veeteelt is vooral extensief, omdat de droogte in de zomer de beperkende factor is. Alleen door irrigatie is het mogelijk veel dieren bij elkaar te houden of om voer te verbouwen voor de dieren die in stallen gehouden worden. Daardoor heeft de veeteelt in dit gebied slechts een geringe economische betekenis die ook nog steeds verder afneemt. Maar de veeteelt kan wel gebieden in gebruik nemen die voor andere bedrijfsvormen niet geschikt zijn. Zo worden de berggebieden en (zeer) neerslagarme gebieden voor nomadische veeteelt of transhumance gebruikt.

● Transhumance wil zeggen dat een herder met een kudde geiten en schapen rondtrekt tussen de hoog gelegen koele zomerweiden en de lager gelegen winterweiden. De eigenaar van de kudde heeft een vaste woonplaats en vaak een akkerbouwbedrijf, en betaalt de herder. Een winterstal ontbreekt vaak omdat er niet genoeg voedsel voorradig is.

■ Door de seizoensmobiliteit en de aanpassing aan het reliëf wordt het land optimaal benut, maar dat levert tegelijkertijd problemen op. Veel weidegebieden of stoppelvelden mogen tegenwoordig niet meer zonder betaling benut worden als weidegebied. Bovendien is de overschrijding van staatsgrenzen een probleem. Ook zijn veel vroegere weidegebieden nu in gebruik als droge of geïrrigeerde akkerbouwgebieden. En de winterweiden aan de kust zijn veranderd in gebieden met bebouwing, industrie of infrastructuur. Veel herders protesteren tegen het steeds kleiner worden van 'hun' weidegebieden. Zeker nu er in veel gebieden ook nog een weideverbod is opgelegd om de schade aan de plantengroei en erosie tegen te gaan. Dit alles heeft tot gevolg dat slechts weinig herders nog op traditionele wijze de transhumance bedrijven. Om hun kuddes toch nog op verschillende weidegebieden te kunnen laten grazen, worden de dieren soms per vrachtwagen van de ene naar de andere plaats vervoerd.

● Nomadisme komt van oorsprong vooral in de zuidelijke gebieden voor waar mens en dier de woon- en weideplaats moesten aanpassen aan de zeer geringe neerslaghoeveelheden. Ook het traditionele nomadisme is grotendeels verdwenen. Nieuwe eigendomsverhoudingen en veranderend bodemgebruik van de weidegronden en het beleid van de regeringen om de mensen een vaste woon- en verblijfplaats te geven, hebben ervoor gezorgd dat er een halfnomadische bestaanswijze is ontstaan. Hierbij leven de mensen in dorpen en bedrijven naast de veeteelt ook akkerbouw.

● De moderne veeteelt in grootschalige stallen, zoals in West-Europa, komt met uitzondering van Spanje en Israël niet voor. De melk- en vleesproductie door koeien is zo laag dat alleen door import aan de behoefte kan worden voldaan. Bovendien worden er nauwelijks varkens gefokt en wordt gevogelte (kippen, ganzen) alleen voor eigen gebruik en dus op kleine schaal gehouden.

> transhumance
> nomadisme



Spaanse tuinders bouwen steeds vaker een glazen kas in plaats van plastic tunnelkassen. De productie ligt hoger, de kwaliteit in de winter is beter, plaaginsecten komen er moeilijker in en de glazen kas is beter bestand tegen de wind. Bovendien is er weinig verschil in kosten, omdat het plastic iedere twee jaar vervangen moet worden. Het gebied rond Almería, waar deze kassen voorkomen, beslaat 24.000 hectare en heeft dan ook als bijnaam 'de plastic kust'.

Figuur 4.17 Costa plastica.



Figuur 4.18 Aan de Turkse kust bij Aliaga, 50 km ten noorden van Izmir, worden afgedankte schepen ontmanteld. Vervuilende stoffen komen door verbranding in de lucht en door afspoeling in het grond- en zeewater terecht.

Duurzame ontwikkeling in en rond de Middellandse Zee?

▶ Het ecosysteem van de Middellandse Zee wordt door verstedelijking, industrialisering en intensivering van de landbouw op verschillende manieren aangetast.

● Ongeveer 70% van de afwatering stroomt ongezuiverd de zee in. Het betreft hier rioolwater, maar ook ongezuiverd afvalwater dat in rivieren is gedumpt. Daardoor komen micro-organismen, virussen en parasieten in het water. Ook afval dat niet afgebroken kan worden, zoals plastic (kunststof), verdwijnt in het water. Verreweg het meeste van dit ongezuiverde afvalwater is afkomstig uit de Zuid-Europese landen. De stroming zorgt ervoor dat de vervuiling tot aan Noord-Afrika terechtkomt.

● De intensieve landbouw veroorzaakt vervuiling door meststoffen en insectenverdelgingsmiddelen in het water te laten komen. De eutrofiëring die hiermee gepaard gaat, zorgt voor de afbraak van zuurstof in het water. Ook de plastic tunnelkassen in de tuinbouw (figuur 4.17) leveren heel wat afval.

● De zware industrie, petrochemie, textiel-, leer- en papierindustrie zorgen voor enorme hoeveelheden industrieafval. Deze vervuiling is het grootst bij de grote steden aan de kust (figuur 4.18). Zware metalen zoals lood en koper en stoffen zoals DDT, cadmium en dioxine worden in te hoge concentraties aangetroffen in het water. Ook de neerslag van luchtvervuiling komt in de zee terecht. Al deze stoffen komen in de voedselkringloop van zeedieren. De risico's voor de volksgezondheid zijn groot door de consumptie van besmette of verontreinigde vis-, schaal- en schelpdieren. Het koelwater van elektriciteitscentrales dat wordt geloosd, zorgt voor thermische verontreiniging.

● Olievervuiling door rampen met tankers, afval van raffinaderijen en het vrijkomen van olieresten bij het schoonspoelen van tankers hebben de afgelopen zeventig jaar de zee vervuild. Van alle olievervoer loopt 90% van Egypte (Suezkanaal) naar Gibraltar. Gemiddeld gebeuren er jaarlijks zestig zeevaartongelukken in de Middellandse Zee waarbij vijftien keer een olie- of chemicaliënschip betrokken is.

● Het aantal toeristen overtreft al jaren de capaciteit in veel kustgebieden. Het populairste vakantiegebied ter wereld gaat aan haar eigen succes ten onder. Maar steeds vaker wordt er geprobeerd de kwaliteit van het zwemwater en de stranden te verbeteren en de toeristen bewust te maken van het watertekort.

Actieprogramma

▶ Sinds 1976 hebben de landen rond de Middellandse Zee een actieprogramma opgezet. Dit 'Mediterranean Action Plan' (MAP) heeft als doel het tegengaan van vervuiling en het doen van onderzoek zodat betere (duurzame) keuzes kunnen worden gemaakt. Ook de Europese Unie ondersteunt onderzoeksinstituten, projecten om de vermindering van olievervuiling te bewerkstelligen en milieumanagement van kustgebieden door het geven van subsidies. Het MAP is intussen uitgebreid met allerlei wetgeving, protocollen en hernieuwde en uitgebreide plannen.

■ Toch blijven de typisch mediterrane werkwijzen, de corruptie, het zeer divers interpreteren van nationale en internationale wetgeving en de nalatigheid bij veel praktische zaken een probleem voor het invoeren en handhaven van het actieplan.



4.4 Landdegradatie

Bosbranden

Een brandweerman probeert een bosbrand in Spanje te blussen. In de zomer van 2009 werd Spanje getroffen door vele bosbranden. Van noordoost tot diep in het zuiden gingen duizenden hectares in vlammen op en veel mensen moesten uit hun dorpen geëvacueerd worden. Behalve de slachtoffers die bij deze branden te betreuren waren, verdwenen hierdoor weer stukken natuur en boomgaarden. Wat overblijft, is een kale, zwartgeblakerde bodem die makkelijk aan te tasten is door erosie.

▶ In de vorige paragraaf kwam de vervuiling van het zeewater aan bod. Maar ook het land is kwetsbaar voor menselijke activiteiten. Dit wordt veroorzaakt door de combinatie van het klimaat met de onbetrouwbare hoeveelheden neerslag in de winter en de droogte in de zomer, het reliëf en het intensieve gebruik van de grond. De gebieden worden al van oudsher bewoond waardoor veel natuurlijke ecosystemen zijn verdwenen. Door de toenemende intensiteit van het grondgebruik treedt er de laatste decennia steeds meer landdegradatie op. Daaronder wordt de aantasting van het landschap verstaan door met name menselijke activiteiten. De uitputting van de bodem en het grondwater, de ontbossing en de overbeweiding leiden tot erosie, overstromingen, aardverschuivingen en verwoestijning. Door deze processen zal de productiecapaciteit van de grond sterk verminderen.

Droogte en verwoestijning

▶ In 2008 kampte Spanje met de ergste droogte sinds 1912. Er viel in anderhalf jaar tijd 40% minder regen dan in andere jaren. Waterreservoirs stonden voor de helft leeg. Het waterprobleem in het Middellandse Zeegebied is echter van alle tijden. De Iberiërs, Romeinen, Grieken en Moren veranderden de waterhuishouding door de aanleg van aquaducten. Later werden er – toen de bevolking bleef groeien – stuwmeren, dammen, kanalen en waterkrachtcentrales gebouwd. Daardoor is de hoeveelheid water die nog wel door de oorspronkelijke loop gaat, in allerlei rivieren sterk afgenomen.

● Om het tekort aan water op te lossen, worden tegenwoordig ondergrondse watervoorraden of aquifers aangeboord. De zogenoemde fossiele watervoorraden zijn ontstaan doordat het water vele jaren geleden naar deze plekken met een ondoordringbare ondergrond stroomde. Nu pompt men het water op grote schaal uit de grondwatervoorraden, die snel uitgeput zullen raken.

● 37% van het grondoppervlak in Spanje loopt het risico van verwoestijning. Met name in het zuiden van Spanje leidde het tekort aan water, gecombineerd met overbeweiding en bosbranden tot uitdroging van de grond. Erosie door wind en water deden de zogenaamde 'badlands' ontstaan: weinig begroeiing, veel erosiegeulen en nauwelijks mogelijkheden om

> aquifers



Figuur 4.19 Bodemdegradatie in Almería.

dit gebied nog te gebruiken voor de landbouw (figuur 4.19). Behalve de verwoestijning vormt een bijkomstig verschijnsel, de verzilting, een groot probleem. In Almería werden de tuinbouwgronden intensief geïrrigeerd. Door deze overvloedige bevloeiing steeg de grondwaterspiegel en trad er door de sterkte verdamping op grote schaal verzilting op (figuur 4.20).

Duurzaamheid tegen verwoestijning

▶ Om de verwoestijning tegen te gaan, heeft Spanje vanaf 2000 een Nationaal Actie Plan tegen verwoestijning opgezet. Het omvat een keur aan maatregelen, zoals herbebossing (figuur 4.21), preventie bij bosbranden, dry farming in kwetsbare streken, het tegengaan van akkerbouw op steile hellingen en bescherming van de kwaliteit van het grondwater. Bovendien worden er ter behoud van de aquifers nu grote ontziltingsinstallaties gebouwd die zout zeewater omzetten in zoet water.

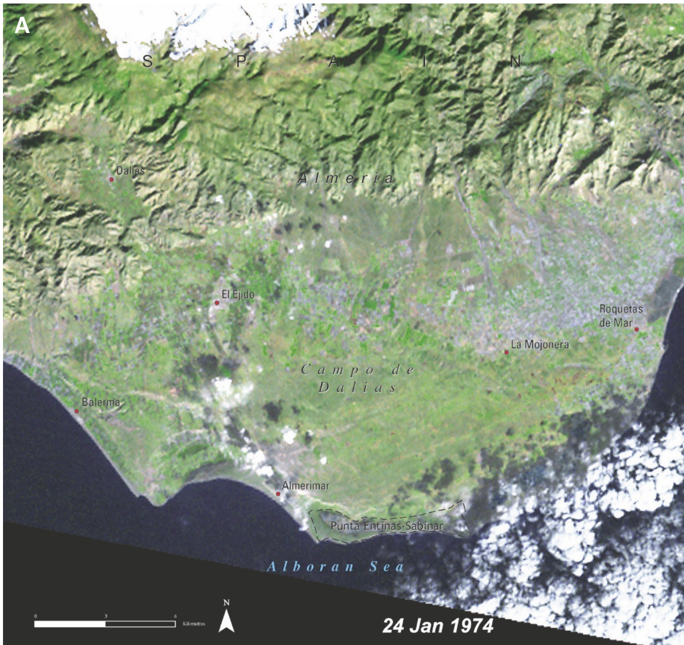
Bossen en banen

Spanje heeft in 2008 een plan opgesteld om 61.000 ha grond opnieuw te gaan bebossen met 45 miljoen bomen. Het plan moet tussen 2009 en 2012 worden uitgevoerd. Behalve herstel van de ecosystemen zal dit ook 3.000 banen scheppen in met name agrarische gebieden. Het plan vereist een investering van € 90 miljoen.

Figuur 4.21 Herbebossing in Spanje.

Ontbossing

▶ De begroeiing van het Middellandse Zeegebied bestaat van oorsprong uit zomergroen loofwoud en steppevegetatie. Dit





Figuur 4.20 Tussen 1974 (A) en 2004 (B) heeft de grootschalige glastuinbouw in de Zuid-Spaanse provincie Almería zoveel water verbruikt, dat er verzilting en verwoestijning optreedt.

wankele evenwicht is in de meeste gebieden verstoord. De plantengroei die momenteel in het Middellandse Zeegebied aanwezig is, kan geclassificeerd worden als een overgangsvorm. De planten zijn niet de oorspronkelijke soorten en zullen in de toekomst verdwijnen om plaats te maken voor soorten die de mens er voor agrarische doeleinden aanplant.

● Het proces van ontbossing is al zeer lang geleden begonnen. Ten eerste had men brandhout en bouwmaterialen nodig. Bovendien werden de bossen gekapt of afgebrand om plaats te maken voor weidegronden, akkerbouw- en tuinbouwgrond. Tot slot had men steeds meer ruimte nodig voor nederzettingen. Tegenwoordig verdwijnt er jaarlijks veel bos door bosbranden (zie foto en tekst inleiding). Veel bosbranden worden door mensen veroorzaakt, waarbij de zomerse hitte en droogte de situatie verergeren. In veel gebieden is het bos vrijwel geheel verdwenen, al geldt dat er grote regionale verschillen zijn binnen het gebied. Zo heeft Sicilië slechts 3,4% bos, tegenover Turkije 20% (inclusief fruitbomen).

● Een gevolg van deze verstoringen is de afname van het aantal soorten. Het verdwijnen van de plantengroei versterkt de bodemerosie en vergroot het stroomgebied van rivieren door bovengrondse afwatering. Of deze problemen verholpen kunnen worden, zullen herbebossingsprojecten in de toekomst moeten aantonen.

Reliëf, bodem en water

▶ Gedurende 2.000 jaar wordt het land intensief agrarisch benut. Overal in het Middellandse Zeegebied zijn op natuurlijke wijze, maar vaak versterkt door menselijk gebruik, de bovenste delen van de bodem sterk uitgespoeld. Uitspoeling wil zeggen dat de voedingsstoffen met het (regen)water dieper in de bodem zijn gespoeld en niet meer bereikbaar zijn voor planten.

● De combinatie van de hoeveelheid regenval, de steilheid en de lengte van de helling, het bodemtype en de bodembedekking bepalen het risico van bodemerosie. In hoofdstuk 2 heb je gezien dat gesteenten en verweerd materiaal bij bepaalde gebeurtenissen door de zwaartekracht in een grote massa van de helling kunnen afschuiven. Soms verlopen deze massabewegingen zeer rustig, maar de beweging kan bijvoorbeeld onder invloed van een aardschok of overvloedige regenval ook zeer snel verlopen. Modderstromen (landslides) zijn sneller dan creep en aardverschuivingen. Hoe natter het materiaal, hoe sneller het stroomt (figuur 2.29). Zo trof in 1998 een grote modderstroom het dorp Sarno in Italië (figuren 4.22 t/m 4.25).

> uitspoeling

Verwoestende modderstromen

Op 5 en 6 mei 1998 trof een landslide het gebied rond Sarno (Zuid-Italië, vlak bij Napels). Nadat er in een periode van 24 uur 100 tot 150 mm neerslag was gevallen op de steile en kale, onbegroeide hellingen, raakte het materiaal op de helling verzadigd met water en begon te glijden. De lokale riviertjes waren niet in staat de grote hoeveelheid water af te voeren. Er gleed 6 miljoen m^3 materiaal in de richting van vijf dorpen met samen 71.000 inwoners. De gevolgen waren groot. Metershoge modderstromen (tot wel ruim 5 m hoog) verwoestten huizen, gebouwen, auto's en infrastructurele werken (figuur 4.23) en 166 mensen verloren hun leven. De schade bedroeg meer dan $ 500 miljoen.

Oorzaken van de ramp

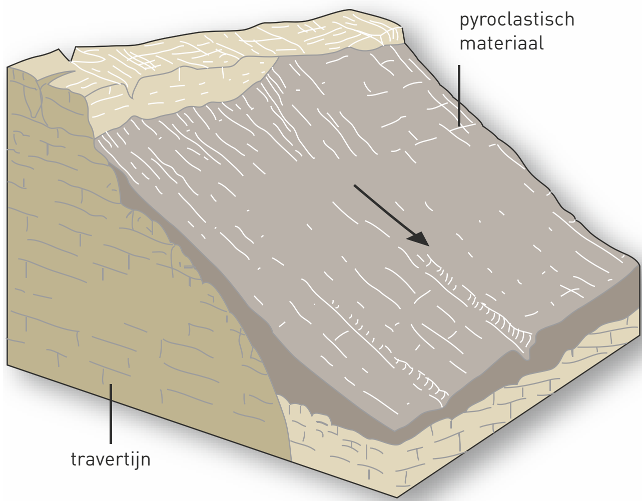
De oorzaak van de ramp heeft zowel fysische als sociale aspecten.
Ten eerste was het hellingsmateriaal pyroclastisch. De bodem bestond uit as dat afkomstig was van een vulkaanuitbarsting uit het Krijt (figuur 4.24). Ten tweede was de helling ontbost of was er sprake van grootschalige overbegrazing. Tot slot de overvloedige neerslag. De hoeveelheid die viel, is normaal voor het najaar of de winter, maar niet voor het voorjaar. De preventieve maatregelen om zo'n ramp te voorkomen, werden gedurende tientallen jaren en op grote schaal genegeerd. De afvoergeulen waren slecht onderhouden, soms dichtgegroeid, soms gebruikt als opslagplaats, parkeerplaats of zelfs als woning. Ook waren er in het gebied veel, door mensen veroorzaakte, bosbranden die de hellingen verder ontbosten. Tot slot werden de traditionele riviertjes verlegd of ze verdwenen, evenals de landslidecontrolesystemen.

Figuur 4.22 Landslide bij Sarno, Italië.

● Met de volgende preventiemaatregelen kunnen watererosie en aardverschuivingen voorkomen worden:
- niet bouwen bij natuurlijke erosiegeulen;
- niet bouwen aan de voet van steile hellingen;
- het beplanten van hellingen;
- drainagesysteem aanleggen zodat het water niet bovengronds afstroomt.



Figuur 4.23 De allesvernietigende modderstroom sleurde ook auto's mee.



Figuur 4.24 Het pyroclastische materiaal ligt als het ware los op de travertijn-onderlaag. Door de verzadiging begint het materiaal van de helling af te glijden.

Maatregelen

Om een dergelijke ramp in de toekomst te voorkomen, zijn verschillende maatregelen genomen:
- Er zijn nieuwe geulen aangelegd.
- Er zijn reservoirs op de helling aangelegd om een eventuele modderstroom op te vangen.
- Aan de voet van de helling zijn grote bassins gebouwd waarin het materiaal moet gaan bezinken en waarvandaan het water verder kan stromen.

Toch zijn daarmee de problemen niet opgelost. De dorpen zijn niet verplaatst, de controle op wetgeving die is gericht op preventie van zo'n ramp, laat te wensen over, de aangelegde opvangbekkens zijn alweer begroeid en de inwoners lijken, gezien hun gedrag, de ramp alweer vergeten te zijn.

Figuur 4.25 Voorkomen in de toekomst?

Begrippen hoofdstuk 4

Alpien plooiingsgebied 85
Gebied dat is ontstaan door plooiing van de aardkorst, zoals voorkomt in de Alpen.

Aquifer 98
Waterhoudende laag in de ondergrond.

Azoren-Hoog 88
Gebied met hoge luchtdruk dat permanent in de buurt van de Azoren ligt.

Bekken 86
Relatief laaggelegen deel van het aardoppervlak.

Dry farming 93
Droge akkerbouw (zonder irrigatie) waarbij de helft of zelfs eenderde van het cultuurland elk jaar in productie is, terwijl de rest braak ligt.

Grote druk- en windsystemen 88
Systeem waarin luchtdrukgebieden op de aarde vrijwel altijd op dezelfde plaats liggen waardoor (met behulp van de wet van Buys Ballot) drie overheersende windrichtingen op de aarde ontstaan.

Neerslagintensiteit 89
Hoeveelheid neerslag die per uur of per dag valt.

Nomadisme 95
Leefwijze waarin volkeren een rondtrekkend bestaan leiden om in hun onderhoud te voorzien.

Saliniteit 90
Zoutgehalte.

Transhumance 95
Vorm van nomadisme waarbij sprake is van een seizoenstrek met het vee tussen de zomer- en de winterweiden.

Uitspoeling 100
Voedingsstoffen zijn met het (regen) water dieper de bodem in gespoeld en zijn niet meer bereikbaar voor planten.

Overzicht vaardigheden en werkwijzen

Bij aardrijkskunde (geografie) gaat het niet alleen om weten en begrijpen. Je oefent ook 'geografische vaardigheden en werkwijzen', door het maken van opdrachten in het werkboek. Hiermee kun je zelf een goed aardrijkskundig beeld van de wereld opbouwen. Je kunt die vaardigheden zien als een soort gereedschap. En de werkwijzen helpen je om dat gereedschap op de juiste manier te hanteren.
In dit overzicht krijg je eerst een toelichting op datgene waar het bij aardrijkskunde om gaat: het vormen van een geografisch beeld van (delen van) de wereld. Daarna komen de vaardigheden en werkwijzen aan bod. De opbouw van dit overzicht is als volgt:

1 Een geografisch beeld vormen
2 Aardrijkskundige vragen stellen
3 Geografische hulpmiddelen
4 Aardrijkskundige werkwijzen
5 Stappenplan geografisch onderzoek

1 Een geografisch beeld vormen

▶ Geografen zijn erg geïnteresseerd in gebieden. Ze letten speciaal op de overeenkomsten en de verschillen tussen gebieden. Deze ruimtelijke overeenkomsten en verschillen doen zich voor bij zowel menselijke als natuurlijke verschijnselen. Denk bij menselijke verschijnselen bijvoorbeeld aan de spreiding en groei van de bevolking, de economische ontwikkeling of aan culturen. Voorbeelden van natuurlijke verschijnselen zijn klimaten, vulkanisme of vegetatievormen.

● Menselijke en natuurlijke verschijnselen beïnvloeden elkaar sterk. Een voorbeeld is de samenhang tussen de spreiding van de bevolking en de bodemvruchtbaarheid. Verandering van het ene verschijnsel zorgt voor verandering bij het andere.

▶ Een geografisch beeld van een gebied bevat een beschrijving van vier soorten kenmerken: de ligging, de gebiedskenmerken, de bevolkingskenmerken en de interne en externe relaties.

A De ligging

● De plaats binnen een coördinatensysteem van meridianen en parallellen noem je de *absolute ligging*. Een voorbeeld: Amsterdam ligt op 52° 22' N. en 4° 53' O. Deze absolute ligging verandert nooit. Wat wél kan veranderen is de *relatieve ligging*, dat wil zeggen de positie ten opzichte van andere plaatsen of verschijnselen op het aardoppervlak. De relatieve ligging wordt vaak uitgedrukt in tijd, kosten of moeite om andere plaatsen te bereiken. De bouw van de tunnel onder de Westerschelde veranderde de relatieve ligging van Zeeuws Vlaanderen, omdat de tijd en de moeite om dit deel van Nederland te bereiken kleiner werden.

B Gebiedskenmerken

● Dit zijn de (voor een groot deel zichtbare) eigenschappen van een gebied. Denk hierbij aan:
– Kenmerken van de natuurlijke omgeving (fysisch milieu), zoals bodem, grondsoort, water, reliëf, klimaat, zeestromen of delfstoffen.
– De inrichting, zoals bodemgebruik, verkaveling, infrastructuur, nederzettingen of stedelijke bebouwing.

C Bevolkingskenmerken

● Er zijn vier bevolkingskenmerken. Allereerst de *culturele* kenmerken. Het gaat dan over aangeleerd gedrag en uitingen van menselijke groepen, zoals taal, godsdienst, geschiedenis of heersende normen en waarden. Tot de *demografische* kenmerken reken je omvang, groei en (verandering in de) samenstelling van de bevolking.
De *economische* kenmerken zoals werkloosheid, inkomen, in- en uitvoer of de bestaansmiddelen (landbouw, industrie en diensten) vormen de derde groep.
Ten slotte de *politieke* kenmerken. Ze hebben te maken met het uitoefenen en de verdeling van macht. Zo worden in Nederland veel politieke besluiten genomen in Den Haag. In België daarentegen is de macht verdeeld over drie gewesten: het Vlaamse, het hoofdstedelijke en het Waalse gewest.

D Interne en externe relaties

● Bedrijven, instellingen en organisaties hebben onderling contacten. Voor zover deze plaatsvinden binnen de bestudeerde regio spreek je over *interne relaties*. Gebruikmaken van wijkvoorzieningen behoort tot de interne relaties van steden.
Contacten met andere regio's noem je *externe relaties*.
Forensisme is een externe relatie van een stad: namelijk tussen bewoners van gebieden rondom de stad met bedrijven in de stad zelf.

▶ De opbouw van geografische kennis kan twee vormen aannemen: regionale en thematische geografie.
● De *regionale geografie* concentreert zich op de studie van één gebied (regio). Het gaat hierbij om de samenhang tussen verschijnselen binnen dat gebied en de relaties met andere gebieden. Regionaal geografen benadrukken het unieke karakter van dat gebied ten opzichte van andere gebieden. Dat unieke karakter wordt vaak in enkele woorden tot uitdrukking gebracht. Bijvoorbeeld met 'Nederland distributieland' of 'China: de reus ontwaakt'.
● In de *thematische geografie* proberen geografen een goed beeld te krijgen van één of enkele verschijnselen. Daarvan wordt dan het spreidingspatroon onderzocht en de samenhang met andere verschijnselen. Bijvoorbeeld de spreiding van de bevolking in samenhang met klimaten.

▶ Geografische kennis wordt onder andere gebruikt bij het oplossen van ruimtelijke vraagstukken. Een ruimtelijk vraagstuk is bijvoorbeeld het probleem rondom de leefbaarheid van stedelijke gebieden, wateroverlast in Nederland of de verdroging in Afrika.
▶ Geografische informatie wordt nooit kant-en-klaar afgeleverd. Integendeel. Boeken, films, websites of kaarten bevatten veel gegevens, maar het is dan de kunst om hieruit de juiste informatie te halen en die te combineren. Aardrijkskundige vragen helpen daarbij.

2 Aardrijkskundige vragen stellen

Soorten aardrijkskundige vragen

▶ Iedereen stelt zich bij het plannen van een vakantie wel eens een vraag over de ligging, natuurlijke omgeving en inrichting van het vakantiegebied, de cultuur die er voorkomt of de bereikbaarheid. Denk maar eens aan de volgende vragen:
– Waar ligt het vakantiegebied? (Hoe ver moet ik reizen?)
– Hoe ziet het landschap eruit? (Welke schoenen neem ik mee?)
– Welke weersomstandigheden overheersen er? (Veel zon? Genoeg sneeuw?)
– Welke taal wordt er gesproken? (En spreken ze ook Engels?)
– Op welke manier moet ik naar dat gebied reizen? (Auto, vliegtuig, trein?)

Dit zijn allemaal geografische vragen. Je bent zo, misschien wel onbewust, bezig met aardrijkskunde. Ze gaan immers over een gebied en de verschijnselen die zich daar voordoen. De vragen hebben nog iets anders gemeenschappelijk. Bij de beantwoording ontstaat een beschrijving van een (vakantie)gebied. Vragen die een beschrijving opleveren, noem je daarom beschrijvende vragen. Elk vak, dus ook aardrijkskunde, begint met het stellen van beschrijvende vragen. Maar eigenlijk zijn de vragen naar het 'waarom' en 'waartoe' interessanter. In het volgende overzicht tref je ook dat soort vragen aan. Er worden daar ook voorbeelden gegeven.

A Beschrijvende vragen
● Deze vragen beginnen met woorden als 'waar', 'hoe', of 'wat'. Antwoorden op beschrijvende vragen gaan dus over zaken als de ligging of de spreiding en de kenmerken van verschijnselen. Soms gaat het om de weergave van een ruimtelijk vraagstuk.

B Verklarende vragen
● Deze vragen beginnen met woorden als 'waarom', 'waardoor', 'hoe komt het'. Het gaat dus om oorzaken. Een goede verklaring bestaat uit de volgende onderdelen:
– *Situatiebeschrijving.* Je noemt de geografische omstandigheden waarin een verschijnsel zich voordoet. Het gaat om aspecten van de ligging, de gebiedskenmerken, de bevolkingskenmerken of de relaties die kunnen helpen bij de verklaring.
– *Oorzaak.* Welke gebeurtenis zorgt ervoor dat het te verklaren verschijnsel zich voordoet?
– *Gevolg.* Dit is het te verklaren verschijnsel.
– *Verklarend principe.* Dit is een algemene regel waarin is vastgelegd waarom de oorzaak leidt tot het gevolg.

Meestal spelen meerdere oorzaken of factoren tegelijkertijd een rol. Voor veel verschijnselen zijn zowel menselijke als natuurlijke factoren verantwoordelijk. Zo wordt bodemerosie niet alleen veroorzaakt door ontbossing (een menselijke factor), maar ook door een toename van de intensiteit van de neerslag (een natuurlijke of fysische factor).

C Voorspellende vragen
● Voorspellende vragen zijn toekomstgericht. Het zijn vragen naar het voorkomen (of wegblijven) van verschijnselen in een gebied in de komende jaren of decennia. Het gaat om een verwachting op grond van de beschikbare informatie.
Een goede voorspellende vraag bevat minstens drie onderdelen:
– *Situatiebeschrijving.* De huidige (regionale) omstandigheden, met aandacht voor de ruimtelijke context.
– *Verwachting.* De voorspelde toekomst.
– *Voorspellend principe.* Dit is een algemene regel die het verband beschrijft tussen de huidige omstandigheden en de verwachting voor de toekomst.

Soorten vragen	Voorbeelden van vragen met daaronder (beknopte) antwoorden
A Beschrijvende vragen	1 Wat is 'toerisme'? 2 Waar liggen toeristische bestemmingsgebieden in Spanje? 3 Hoe reizen toeristen naar vakantiebestemmingen in Spanje? 4 Welk soort toerisme tref je in de genoemde gebieden aan? 5 Voor welke plaatselijke problemen zorgt het toerisme?
	1 Vorm van recreatie, gericht op reizen en verblijf buiten eigen woongebied. 2 Aan de kusten van de Middellandse Zee: de costa's. 3 Per vliegtuig, bus of auto. 4 Massatoerisme, strandvakanties. 5 Overlast, verstening, problemen met watervoorziening, enzovoort.
B Verklarende vraag	Waardoor nam het massatoerisme naar de Spaanse costa's vanaf de jaren zestig van de vorige eeuw zo sterk toe?
	Situatiebeschrijving De aanwezigheid van landschappelijk mooie kuststreken, mooie stranden en warme, hete zomers en zachte winters. Oorzaak Toename welvaart en vrije tijd en betere infrastructuur (autosnelwegen). Gevolg Stijging van het aantal toeristen. Verklarend principe Het aantal toeristen stijgt, wanneer de relatieve afstand naar een (potentiële) toeristische bestemming afneemt en de welvaart en vrije tijd in het herkomstgebied van toeristen toenemen.
C Voorspellende vraag	Verwacht je een groei of een daling van het aantal toeristen aan de Spaanse costa's?
	Situatiebeschrijving Het aantal toeristen in Spaanse kustgebieden daalde. Het aanbod van alternatieve bestemmingen neemt toe en 'lowbudget'-maatschappijen concurreren met nieuwe plaatsen van vertrek en meer bestemmingen binnen Europa. Verwachting Verdere daling van toeristenstroom naar Spanje. Voorspellend principe Naarmate de toerist kan kiezen uit meerdere, gelijkwaardige bestemmingen qua relatieve afstand (prijs, afstand, reistijd) en kwaliteit (comfort, service, landschappelijke attractiviteit), neemt de kans af dat hij steeds weer kiest voor die ene bestemming.
D Waarderende vraag	Vind je de afname van de toeristenstroom gunstig of ongunstig voor de Spaanse kustgebieden?
	Situatiebeschrijving Verminderde inkomsten voor de horeca aan de Spaanse kust, de toename van de werkloosheid, de verslechtering van de dienstenbalans tussen Spanje en het buitenland, maar ook een kleinere aanslag op watervoorraden, minder aantasting van het milieu, enzovoort. Oordeel Een afweging tussen enerzijds de economische belangen en anderzijds de bescherming van natuurwaarden. Hecht je grotere waarde aan de natuurbelangen, dan zul je de afname van de toeristenstroom positief waarderen. Een en ander onderbouw je met argumenten door bijvoorbeeld in te gaan op de effecten van minder toeristen op de watervoorraden in de regio.
E Probleemoplossende vraag	Welk advies zou je geven om te voorkomen dat de inkomsten uit toerisme afnemen en dat de werkloosheid toeneemt?
	Situatiebeschrijving Zie eerder bij waarderende vraag. Voorstel van maatregelen Investeren in duurzaam toerisme. Criteria Precieze beschrijving van de toename van watervoorraden, vermindering van energieverbruik en milieuvervuiling. Oplossing Duurzamere samenleving met een verbetering van het milieu en minder werkloosheid en hogere inkomsten.

D Waarderende vragen

● Waarderen betekent dat je een uitspraak doet over de wenselijkheid van een situatie of proces. Daar horen ook argumenten bij: waaróm is iets wenselijk?
Waarderende vragen beginnen bijvoorbeeld met 'Is het een goede zaak, dat ....(?)', of 'Waarom vind je het wenselijk, dat ....(?)'
Waarderen heeft alles te maken met opvattingen over 'goed' en 'slecht' en dus met waarden en normen. Die waarden en normen moet je noemen bij waarderende vragen. Daarnaast moet je ook argumenten geven.
Voor waarderende vragen kun je het 'Stappenplan eigen mening' gebruiken:
- Wat is het probleem?
- Wie zijn erbij betrokken?
- Wat is hun mening over het probleem en welke argumenten hebben ze?
- Wat is je eigen mening en welke argumenten heb jij zelf?

E Probleemoplossende vragen

● Bij dit soort vragen wordt je gevraagd een probleem op te lossen. Alle eerder genoemde vragen moet je daarvoor al beantwoord hebben. Immers, zonder een verschijnsel eerst te kennen en te kunnen verklaren, kun je geen probleem oplossen. Het antwoord op een probleemoplossende vraag is vaak een voorstel, een advies of een plan.
Bij de antwoorden zullen de volgende elementen moeten terugkomen:
- *Situatiebeschrijving*. De huidige ongewenste situatie/ ontwikkeling.
- *Voorstel van maatregelen*. waaruit je zou kunnen kiezen. Niet elke maatregel zal even goed uitpakken. Anders gezegd: maatregelen kunnen tot verschillende *scenario's* leiden.
- *Criteria* waaraan een oplossing moet voldoen.
- *Oplossing*. Dit is de maatregel die volgens jou tot de meest gewenste ontwikkeling leidt. Je moet ook duidelijk maken waarom je juist deze maatregel kiest.

Hoofdvragen en deelvragen

▶ Wanneer je een verschijnsel of gebied gaat bestuderen, maak je één centrale vraag (de hoofdvraag) en enkele deelvragen. Hoofdstukken in het boek zijn ook opgebouwd aan de hand van zo'n combinatie van hoofd- en deelvragen.
▶ Een goede hoofdvraag voldoet aan de volgende eisen:
● De hoofdvraag moet natuurlijk een aardrijkskundige vraag zijn en dus betrekking hebben op zowel een verschijnsel als een gebied.

Voorbeeld van hoofd- en deelvragen

Hoofdvraag

Wat is de beste oplossing om te voorkomen dat veranderingen in de waterafvoer van de grote rivieren de komende dertig jaren een probleem gaan vormen voor de bewoners van het rivierengebied? (probleemoplossende / waarderende vraag)

Deelvragen

1 Waar ligt het rivierengebied en welke delen van Nederland horen erbij? (beschrijvende vraag)
2 Hoe is de waterafvoer de laatste decennia in het rivierengebied veranderd? (beschrijvende vraag)
3 Welke problemen bracht die verandering met zich mee? (beschrijvende vraag)
4 Waardoor werd de verandering van de waterafvoer veroorzaakt? (verklarende vraag)
5 Welke veranderingen treden hier de komende dertig jaar op in de waterafvoer van de grote rivieren en waar precies? (voorspellende vraag)
6 Welke problemen voor de bevolking doen zich door die veranderingen in de waterafvoer voor? (voorspellende vraag)
7 Welke oplossingen kun je bedenken om de problemen te voorkomen? (probleemoplossende vraag)
8 Welke oplossing is de beste? (waarderende vraag)

● Uit de hoofdvraag moet duidelijk tot uiting komen welke informatie je nodig hebt. De hoofdvraag is dus niet te globaal. Zorg voor het volgende:
- Omschrijf duidelijk het onderwerp ('wat').
- Baken de periode waarin het onderwerp onderzocht moet worden duidelijk af ('wanneer').
- Geef zo precies mogelijk aan welk(e) gebied(en) onderzocht worden ('waar' en 'begrenzing').

▶ De antwoorden op de deelvragen lossen een stuk van de hoofdvraag op. Goede deelvragen voldoen aan de volgende eisen:
● Deelvragen ondersteunen de hoofdvraag.
● Het aantal deelvragen is niet te groot. Voeg daartoe eventueel deelvragen samen of streep wat minder belangrijke vragen weg.
● Deelvragen staan in een logische volgorde. Je kunt denken aan de volgende twee manieren:
1 Eerst beschrijvende, vervolgens verklarende, daarna waarderende of probleemoplossende vragen en ten slotte de voorspellende vragen. Zorg er in ieder geval voor dat er naast beschrijvende deelvragen minstens één ander type vraag gesteld wordt.
2 Het antwoord op de eerste deelvraag is nodig om de tweede te beantwoorden, enzovoort. Elke deelvraag helpt je dus verder op weg om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden.

3 Geografische hulpmiddelen

Kaarten: belangrijke geografische informatiebronnen.

▶ Om (geografische) vragen te kunnen beantwoorden, heb je bronnen nodig, waaruit je informatie haalt. Geografische informatie kun je verkrijgen door zelf onderzoek te verrichten. Dit 'veldwerk' is echter niet altijd mogelijk. De bronnen zijn meestal teksten, kaarten, beelden en cijfers of grafieken in (vak) literatuur, (massa)media, film, (interactieve) animaties, (lucht) foto's en cartoons. Van al deze mogelijkheden vormen kaarten misschien wel de belangrijkste informatiebron.
▶ Aardrijkskunde zonder kaarten is bijna onmogelijk. Juist op kaarten worden ruimtelijke verschillen afgebeeld en daar draait het bij aardrijkskunde om. De cartograaf (kaartmaker) brengt op kaarten niet alleen de ligging, gebieds- en bevolkingskenmerken in beeld, maar ook relaties Een voorbeeld van een kaart met (ruimtelijke) relaties is GB 78A.

Kaartsoorten

▶ Bij *kaartsoorten* let je op het gebruik van de kaart. Dat gebruik kan sterk variëren. Raadpleeg hiervoor maar eens GB 14. Drie soorten kaarten komen veel voor:
● *Landkaarten*. Ze geven op schaal een algemeen beeld van het aardoppervlak met daarop wegen, rivieren, het nederzettingen-patroon, grenzen, de vegetatie, reliëf, enzovoort. Als de schaal van een landkaart 1:10.000, 1:25.000 of 1:50.000 is, spreek je over *topografische kaarten* (Voorbeeld: GB 21A,C). Vanaf 1:100.000 zijn het *overzichtskaarten* (Voorbeeld: GB 40-41). De topografische kaarten beelden een klein gebied af met veel details. De overzichtskaarten hebben minder details en betreffen een groter gebied.
● *Navigatie- of oriëntatiekaarten* worden gebruikt voor het uitzetten of volgen van een bepaalde route. Denk aan *stadsplattegronden* (GB 26A), *wegenkaarten*, *zeekaarten* en *luchtvaartkaarten*.
● *Thematische kaarten* gebruik je als de spreiding van een verschijnsel of thema centraal staat. Dat kan een gebiedskenmerk zijn, zoals grondsoort, klimaat of nederzettingen, of een bevolkingskenmerk (bijvoorbeeld inkomen, werkgelegenheid, godsdienst) of relaties (bijvoorbeeld handel, forensisme, enzovoort). Op sommige thematische kaarten worden bij elkaar passende kenmerken gecombineerd afgebeeld. Zie bijvoorbeeld GB 55A.

▶ Cartografen benadrukken op de kaarten altijd bepaalde kenmerken van gebieden. Behalve de *titel*, *kaartsymbolen* en de *schaal* gebruiken zij nog andere manieren om de aandacht op bepaalde verschijnselen te richten. Dat is van belang bij het selecteren van een kaart in de atlas. Je moet dan die kaart kiezen die het best past bij de gestelde vraag. Waar moet je dan, behalve op symbolen, titel of de schaal van de kaart nog meer op letten?
● De *projectie*. Het bolvormig aardoppervlak kan op verschillende manieren op een plat vlak, een kaart dus, afgebeeld worden (GB 12). Er zijn projecties die de vorm van gebieden/landen goed weergeven, maar geen goed beeld geven van de grootte van het oppervlak. Soms is een kaart zo getekend, dat alleen de richtingen goed weergegeven worden. Vooral bij het afbeelden van grote gebieden, werelddelen of de hele wereld, is het goed om te kijken welke projectie toegepast is. Dat kun je goed zien aan de richting van meridianen en parallellen.
● Cartografen geven soms verschijnselen op een overdreven manier weer, bijvoorbeeld de breedte van rivieren. Ook het omgekeerde komt voor: minder belangrijke zaken worden gewoon weggelaten of minder benadrukt.

Kaarttypen

▶ *Kaarttypen* onderscheiden zich van elkaar door de vormgeving (GB 13). Verwar *kaarttypen* (onderscheid in vormgeving) niet met *kaartsoorten* (onderscheid in gebruik).
● Op *chorochromatische* kaarten (ook wel *mozaïekkaarten*) is per deelgebied een eigenschap (ook wel een 'kwaliteit') weergegeven. Een voorbeeld: volgens GB 13A heeft stadsdeel Zuidoost in Amsterdam een eigen bestuur en is opgedeeld in zeven buurten. Dat is een politieke eigenschap. Een ander voorbeeld is een kaart waarop van deelgebieden de overheersende godsdienst is afgebeeld.
● *Choropletenkaarten* hebben betrekking op een kwantitatief kenmerk of verschijnsel. Denk aan een hoeveelheid of de intensiteit van een verschijnsel. GB 13C is een voorbeeld: de bevolkingsdichtheid. Elk deelgebied heeft een andere kleur.
● *Isolijnenkaarten* zijn een ander kaarttype om cijfermatige gegevens ('kwantiteiten') weer te geven. Isolijnen (iso = gelijk) verbinden punten die eenzelfde waarde hebben. Hoogtelijnen zijn het beste voorbeeld ervan: elk punt op zo'n lijn heeft dezelfde hoogte (bijvoorbeeld 250 m boven de zeespiegel). Ruimtes tussen 'isolijnen' kunnen verschillende kleuren krijgen.
■ De arcering of kleuren worden zowel op choropletenkaarten als op isolijnenkaarten intensiever of feller naarmate de waarde hoger is (GB 13D).

- Op *anamorfosekaarten* worden gebieden op een wat vreemde manier getekend. Het oppervlak van een land, een provincie of deel van de wereld wordt niet in verhouding getekend tot het werkelijke oppervlak in (bijvoorbeeld) km². De grootte is getekend in verhouding tot de omvang van een verschijnsel. Om bijvoorbeeld goed tot uiting te brengen dat het inkomen per inwoner in de (semi)perifere landen erg laag ligt ten opzichte van de kernlanden, teken je op een anamorfosekaart landen groter naarmate het inkomen er hoger is. Het oppervlak van Nederland zou dan op zo'n kaart ruim vier keer zo groot worden afgebeeld als dat van Mexico. Het inkomen van dat laatste land is immers bijna vier keer zo klein. Op GB 216 staan enkele voorbeelden van dit kaarttype.
- Op *diagramkaarten* staan cirkeldiagrammen, staafdiagrammen of blokdiagrammen (GB 13G).
- *Stippenkaarten* gebruiken puntsymbolen om de spreiding van een verschijnsel in beeld te brengen. Elk symbool stelt dan een bepaalde waarde voor, bijvoorbeeld 1.000 personen (GB 13B).
- *Stroomdiagrammen* gaan over verplaatsing van goederen, mensen of informatie tussen punten op het aardoppervlak. Stroomdiagrammen zijn heel geschikt voor het verhelderen van relaties tussen gebieden of plaatsen. Voorbeelden: vluchtelingenstromen in Oost-Afrika of migratie (GB 165E).

Remote sensing

▶ *Remote-sensingbeelden* lijken op kaarten (GB 16-19). Scanners in satellieten en vliegtuigen tasten de aarde voortdurend in kleine stukjes af ('remote' = 'vanaf een afstand' en 'sensing' = 'aftasten'). Ze meten allerlei soorten straling op (zoals licht of warmte). Met een computer kun je van deze gemeten straling een op een kaart lijkende figuur maken. Voor iedere hoeveelheid straling kiest men een bepaalde kleur. De kleuren kunnen overeenkomen met de echte kleuren; dan spreek je over *'true colour'*. Is dat niet het geval dan zijn de remote-sensingbeelden weergegeven in *'false colour'*.

▶ Remote sensing heeft enkele belangrijke voordelen:

- Een groot voordeel van remote sensing is dat het onzichtbare zichtbaar gemaakt kan worden. Het gat in de ozonlaag is niet te zien met het menselijk oog, maar het kan wel gescand en (het rode, blauwe, groene en het infrarode licht) ingekleurd worden.
- Een tweede pluspunt is dat gelijktijdig over grote gebieden dezelfde gegevens kunnen worden verzameld. Als je deze totaaloverzichten een aantal jaren maakt, kun je de ontwikkelingen in de tijd volgen. Voorbeelden hiervan zijn de verdroging van het Aralmeer vanaf de tweede helft van de vorige eeuw en de ontbossing in het Amazonegebied.

Kaartvaardigheden

▶ Bij het gebruiken van kaarten komen een aantal vaardigheden kijken. Die oefen je bij de vele opdrachten uit het werkboek. Een overzicht daarvan:

- *Kaartlezen* is een zaak van goed naar de kaart kijken met behulp van de legenda die bij de kaart hoort. Deze vaardigheid komt vooral van pas bij het beantwoorden van beschrijvende vragen. Bijvoorbeeld: waar liggen overal nederzettingen?
- *Kaartanalyse*. Analyse gaat verder dan kaartlezen. Daarbij gaat het vooral om de afzonderlijke elementen in een gebied. In het voorbeeld van de nederzettingen zou je op de volgende twee manieren een analyse kunnen maken:
  - Zijn het nederzettingen die op een bepaalde hoogte liggen? Om erachter te komen dat zo is, moeten de nederzettingen geordend worden. Je maakt bijvoorbeeld een groep van alle nederzettingen die boven en alle nederzettingen die onder 1.500 m hoogte liggen. Dit heet classificeren. Bij deze analyse ga je eigenlijk op zoek naar regelmatigheden of spreidingspatronen.
  - Is er een verband tussen het klimaat en het bodemgebruik? Met een of meerdere kaarten probeer je op zoek te gaan naar verbanden tussen deze verschijnselen.
- *Kaartinterpretatie* is misschien wel de moeilijkste vaardigheid. Een voorbeeld. Stel dat je ontdekt dat er een verband is tussen commerciële akkerbouw en het voorkomen daarvan in de gematigde luchtstreek. Je probeert dan vanuit je kennis over landbouw en klimaten verklaringen te bedenken.

4 Aardrijkskundige werkwijzen

▶ Je weet nu waar het in de aardrijkskunde om gaat (zie: 1. Geografisch beeld) en welk gereedschap je gebruikt (zie: 3. Geografische hulpmiddelen) om de geografische informatie te verkrijgen, waarmee je aardrijkskundige vragen (zie: 2. Aardrijkskundige vragen) moet gaan beantwoorden. Maar hoe moet je nu aan de slag met dat gereedschap? Ofwel: welke geografische werkwijzen zijn er, om met het gereedschap een goed geografisch beeld op te bouwen? De zes werkwijzen hierna kun je zowel gebruiken bij het bedenken als het beantwoorden van geografische vragen. Die werkwijzen worden kort toegelicht. Het verwerven van een geografisch beeld van het toerisme in Spanje wordt weer als voorbeeld gebruikt in het kader (op de volgende bladzijde).

A Vergelijken van verschijnselen

▶ Een verschijnsel kun je op twee manieren onderzoeken.

Aardrijkskundige werkwijzen	Voorbeeld: toerisme in Spanje
A Vergelijken van verschijnselen	
Twee gebieden als uitgangspunt	Vergelijken van Costa Brava en Costa del Sol op het gebied van toerisme. Bijvoorbeeld: welke verschillen zijn er tussen de beide costa's als je let op de vormen van toerisme (bijvoorbeeld massatoerisme of elitair toerisme, strandtoerisme of toerisme gericht op cultuur), de herkomst en samenstelling van de toeristenstromen, het soort verblijf, enzovoort?
Het verschijnsel zelf centraal stellen	Welke vormen van toerisme ken je en hoe zijn deze vormen over het Spaanse grondgebied verspreid? Hoe heeft het toerisme zich in Spanje ontwikkeld en was die ontwikkeling overal hetzelfde? Heeft het toerisme een seizoensmatig karakter en geldt dat voor alle toeristische bestemmingen in Spanje?
B Relaties leggen tussen verschijnselen of gebieden	
Interne factoren	Het toerisme hangt binnen Spanje samen met factoren als klimaat, landschap, prijsniveau, toeristische faciliteiten, maar ook met processen als ontbossing, verdroging, verstedelijking of vervuiling.
Externe factoren	Toerisme hangt ook samen met factoren buiten Spanje. Denk aan concurrentie van nieuwe, met de Spaanse costa's vergelijkbare vakantiebestemmingen, zoals de Turkse rivièra. Het kan ook worden toegeschreven aan verschijnselen elders, zoals toenemende werkloosheid in het noordwesten van Europa, het dichtslibben van Franse autosnelwegen, toegenomen vrije tijd, enzovoort.
C Verschijnselen of gebieden bekijken vanuit verschillende dimensies	
	Een vraag over voor- en nadelen van toerisme in Spanje is gemakkelijker te beantwoorden als je aan de volgende dimensies denkt:
Economische dimensie	Het toerisme is een belangrijke inkomstenbron, levert werkgelegenheid op en versterkt de betalingsbalans.
Fysische dimensie	Toeristen worden vaak aangetrokken door de natuurlijke omgeving, maar omgekeerd beïnvloedt het toerisme ook het milieu, waarbij verdroging, vervuiling of vormen van landdegradatie ontstaan.
Sociaal-culturele dimensie	Het toerisme heeft invloed op de samenleving en de cultuur van Spanje en het land biedt de toeristen cultureel erfgoed.
Politieke dimensie	De manier waarop de lokale, regionale of landelijke politiek bij het toerisme betrokken is.
D Verschijnselen en gebieden plaatsen in hun geografische context	
Stad en streek	Torremolinos is deel van het ruimere gebied van de Costa del Sol. Als je een idee hebt tot welk groter geheel Torremolinos behoort, kun je ook beter inschatten welke andere gebieden de belangrijkste directe concurrenten van Torremolinos zijn.
Streek en land	In een grotere context: de Costa del Sol is een deel van Spanje. Binnen dat land neemt het gebied een voorname positie in op toeristisch gebied als je let op het aantal overnachtingen. Ook Torremolinos heeft baat bij de positie van de Costa del Sol binnen Spanje.
E Veranderen van ruimtelijk schaalniveau	
Door inzoomen worden (binnen een groter gebied) details zichtbaar. Bij uitzoomen raken de details op de achtergrond.	Op continentale (Europese) schaal gaan toeristen naar landen aan de Middellandse Zee vanwege de grote kans op goed weer. Inzoomend op een deel van Spanje blijkt, dat dit ook opgaat voor Torremolinos. De accommodatie in Torremolinos is uitstekend voor het massatoerisme met de vele goedkope hotels. Maar in Barcelona spelen ook andere factoren mee: veel musea, prachtige parken en historische gebouwen.
F Redeneren vanuit het algemene en het bijzondere	
	Stel bijvoorbeeld de vraag: welke algemene en welke bijzondere factoren hebben bijgedragen aan de opkomst van Marbella en Lloret de Mar als badplaatsen aan de Spaanse Middellandse Zeekust?
Algemene factoren	In het algemeen gaat het bij de toeristenplaatsen aan de costa's om zonnige bestemmingen voor toeristen uit Noordwest-Europa, met droge en warme zomers, mooie stranden, lage prijzen en een groot aanbod van toeristische voorzieningen.
Bijzondere factoren	Maar zijn er ook bijzondere factoren? Als je dat voor Marbella onderzoekt, blijkt dat een toevallige, corrupte burgemeester ooit voor een enorme groei van dit toeristenoord heeft gezorgd. Marbella is een badplaats voor de elite geworden. Bijzondere factoren voor de groei van Lloret de Mar waren de goede bereikbaarheid en de lange toeristische traditie.

- Je vergelijkt een verschijnsel (bijvoorbeeld toerisme) in het ene gebied met hetzelfde verschijnsel in het andere gebied.
- Bij de tweede manier stel je het verschijnsel zelf centraal. (Je stelt niet de gebieden op de voorgrond maar het toerisme zelf.)

B Relaties leggen tussen verschijnselen of gebieden

▶ Bij deze werkwijze zoek je naar samenhang, ofwel (interne en externe) relaties.

C Verschijnselen of gebieden bekijken vanuit verschillende dimensies

▶ Aan verschijnselen kun je een aantal aspecten onderscheiden:
- De *economische dimensie*.

Het gaat om het creëren van inkomen, werkgelegenheid of de bijdrage aan de betalingsbalans.
- De *fysische dimensie*.

Deze dimensie heeft betrekking op de natuurlijke omgeving.
- De *sociaal-culturele dimensie*.
- De *politieke dimensie*.

Het gaat hier om de politieke invloed van overheden en belangengroepen.

D Verschijnselen en gebieden plaatsen in hun geografische context

▶ Gebieden en verschijnselen maken deel uit van een groter geheel.

E Veranderen van ruimtelijk schaalniveau

▶ Regio's zijn er in allerlei maten. Daardoor werken geografen niet altijd op hetzelfde *ruimtelijke schaalniveau*. Veelgebruikte ruimtelijke schaalniveaus zijn:
- *mondiaal* niveau: de wereld,
- *continentaal* niveau: werelddeel,
- *nationaal* niveau: landelijk,
- *regionaal* niveau: provincie, streek of landsdeel,
- *lokaal* niveau: plaatselijk,
- *fluviaal* niveau: stroomgebied van een rivier.

Geografische kennis wordt beter wanneer je enkele keren van ruimtelijke schaal verandert door in of uit te zoomen. Je krijgt daardoor een heel andere kijk op een verschijnsel of een gebied.

F Redeneren vanuit het bijzondere en het algemene

▶ In veel gebieden spelen behalve algemene ook bijzondere factoren een rol. Geografen proberen via deze werkwijze zicht daarop te krijgen. In onderstaand kader is dat uitgewerkt voor het toerisme.

5 Stappenplan geografisch onderzoek

▶ Bij een compleet geografisch onderzoek komt heel wat kijken. Daarom is het van belang om zo'n onderzoek op een goede, dat wil zeggen systematische manier te laten verlopen. Het schema hieronder biedt daarbij de helpende hand. Voor uitleg en tips bij het uitvoeren van deze stappen kun je terecht op *www.degeo-online.nl*.

Onderzoeksstappen	Uitwerking
Fase I Voorbereiden	
1 Vragen stellen	1a Probleemoriëntatie
	1b Hoofd- en deelvragen formuleren of
	1c Werken met hypothesen
2 Plannen	2a Activiteitenoverzicht maken
	2b Tijdsplanning maken
	2c Taakverdeling maken
Fase II Uitvoeren	
3 Informatie verzamelen	3a Informatiebehoefte inventariseren
	3b Bronnen selecteren
	3c Bruikbaarheid bronnen bepalen
4 Informatie verwerken	4a Informatie ordenen
	4b Informatie analyseren
Fase III Afsluiten	
5 Vragen beantwoorden	5a Deelvragen beantwoorden
	5b Hoofdvraag beantwoorden
	5c Standpunt bepalen
6 Presenteren	6a Doel en doelgroep vaststellen
	6b Inhoud bepalen
	6c Medium bepalen
	6d Planning maken
	6e Presentatie uitvoeren
Fase IV Evalueren	
7 Leren leren	7a Hoe verliep de voorbereiding?
	7b Hoe verliep de uitvoering?
	7c Hoe verliep de afsluiting?

Register van begrippen

Paginanummer in zwart → pagina waarop begrip (voor het eerst) in de tekst wordt genoemd
Paginanummer in blauw → pagina van de begrippenlijst

Bronvermelding

Hoofdstuk 1
1.1, 1.40 www.google.nl
1.3 F. Press & R. Siever, Understanding Earth, 4th edition, W.H. Freeman, 2003
1.4, 1.5, 1.25 A. Strahler & A. Strahler, Introducing Physical Geography, John Wiley & Sons Ltd, 2006
1.27 www.kennislink.nl
1.45 geology.rutgers.edu

Hoofdstuk 2
2.2, 2.4, 2.6 A. Strahler & A. Strahler, Introducing Physical Geography, John Wiley & Sons Ltd, 2006
2.3 www.klimaatwebsite.be
2.7, 2.11, 2.14 William F. Ruddiman, Earth's Climate Past and Future, W.H. Freeman, 2002
2.9 Physische Geographie J. Bauer e.a., Schroedel, 2008
2.10 Higher Geography, K. Maclean e.a., Hodder Gibson, 2005
2.12 Dynamic Earth, Bj. Skinner e.a., John Wiley & sons, 2004

Hoofdstuk 3
3.1 H.J.A. Berendsen, Landschappelijk Nederland 2e druk, Van Gorcum, 2000
3.9 www.mapsales.com
3.17 www.na.unep.net
3.18 www.google.nl
3.22, 3.23 www.emdat.be

Hoofdstuk 4
4.1, 4.4, 4.7 Gea, tijdschrift van Stichting Geologische Activiteiten, maart 1999
4.2 R.D. Müller & W.R. Roest, 'Fracture Zones in the North Atlantic from combined Geosat and Seasat data', in Journal of Geophysical Research (97), 1992
4.3 M.J.R. Wortel & W. Spakman, 'Subduction and Slab Detachment in the Mediterranean-Carpathian Region', in Science (290), 2000
4.5, 4.6 Gea, tijdschrift van Stichting Geologische Activiteiten, maart 2003
4.11 H.G. Wagner, Mittelmeerraum, Darmstadt Wisselschaftliche Buchgesellschaft, 2001
4.12 K. Rother, Der Mittelmeerraum, Teubner Studienbücher Geographie, 1993

Foto's
Yann Arthus-Bertrand /Corbis, Amsterdam: omslagfoto
AP/Reporters, Haarlem: p.5, 24, 30, 73-o, 78 rb, 98
Valérie Koch/Lineair, Arnhem: p 6
NASA, Washington: p. 7, 31rb, 57ro
ED/CVA/HH, Amsterdam: p. 10
Pieter Stemvers, Leiden: pag. 11rb, 11rm
Naturalis, Leiden: pag. 11lb, 13-o
Zefa / Simon Fraser: pag. 11-o
Ron Giling/Lineair, Arnhem: pag. 12lo
Corbis, Amsterdam: pag. 12rb, 14, 15ro, 27b, 47-o, 52b, 52rb, 58rb, 59lb, 64b, 65lb, 67lo, 76, 96
Kjefil Lenes, Slemmestad: pag. 12-m
J-C.et D.Pratt/Bildagentur Schapowalow GMBH Hamburg: pag.13b
David O. Ohre, Oslo: pag. 15b
Matthew McDermott/HH, Amsterdam: pag. 19
ANP foto, Rijswijk: pag. 21, 49-o
Reuters/WFA, Amsterdam: pag. 23lb, 25b, 26, 43, 54, 73b, 78lb, 80, 84
Kevin Schafer/Lineair , Arnhem: pag. 23ro
Álfheiður Magnúsdóttir, Reykjavik: pag. 25ro
Mike Doukas/USGS, Oregon: pag. 27-o
I. Hendriks, Nijmegen: pag. 28, 32lo, 32rb
Ken McDonald/SPL/ANP, Rijswijk: pag. 29
J.N. Marso/USGS, Oregon: pag. 31lo
Expeterra , Utah: pag. 36
Major Kottan/Lineair, Arnhem: pag. 37b
Christian Handl/Lineair, Arnhem: pag. 37-o
Alamy / Image Select, Wassenaar: pag. 45, 50-o, 52ro, 53lo, 65ro, 94lo, 94ro, 95
Adrian Arbib/Lineair, Arnhem: pag. 47r
R. Fuchs/Lineair, Arnhem: pag. 49b
TCS, Amsterdam: pag.50b, 58ro, 66b, 94rb, 101
Paul thompson/B en u, Diemen: pag. 51-o
Thomas Olde Heuvelt: pag. 51b
W. van Rennes, Amsterdam: pag. 52lo
Stefan Kiefer/Lineair, Arnhem: pag. 55lb
Shutterstock, New York: pag. 55rb
Henryk Lippert / istockfoto.com: pag. 57rb
C. Bechtler, Berlijn: pag. 58lb
Henk van der Leeden/B en U Amsterdam: pag. 58lo
Huber/Bildagentur Schapowalow GmbH,Hamburg:pag. 59lo
Jon Lambert, Brisbane: pag. 62
Ashley Cooper/Lineair , Arnhem: pag. 63
Zeng-Yei Hseu , Nei-Fu: pag. 64-o
Mediacolors / B en U, Diemen: pag. 65lo
Jari Liski , Helsinki: pag. 66-o
Henk Goossens/ B en U, Diemen: pag. 67b
USDA Natural Resources Conservation Service: pag. 67ro
Ron Giling/Lineair, Arnhem: pag. 68, 70-o, 72
Joachim Roettgers/Lineair, Arnhem: pag 70b
Sawatzki/Lineair, Arnhem: pag 71
Topfoto / ANP foto: pag 77
Siegfried Kuttig/Lineair, Arnhem: pag. 83
EPA/ANP, Rijswijk: pag. 88
3F Produkties / B en U, Diemen: pag. 91, 94rb
Huber/Schapowalow, Hamburg: pag 92
Roel Burgler / B en U, Diemen: pag. 94rm
Andrea Guermani / Greenpeace, Amsterdam: pag. 97
AISA/Lineair , Arnhem: pag. 99b
UNEP, Nairobi: pag. 99lo, 99ro

www.degeo-online.nl

SE Leerstof voor Schoolexamen vwo

Wereld Arm en rijk

Aarde Klimaatvraagstukken

Gebieden Zuidoost-Azië actueel

CE Leerstof voor Centraal examen vwo

Wereld Globalisering

Aarde Systeem aarde

Gebieden Zuidoost-Azië in beeld

Leefomgeving Wonen in Nederland

